



วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มน้าวสำหรับปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติกรณีศึกษาบริษัทผลิตบรรจุ

ภัณฑ์ชนิดฟิล์มอ่อน

โดย

นางสาวธีรดา มหายน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มน้าวสำหรับปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติกรณีศึกษาบริษัท  
ผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มอ่อน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM FOR ONE-DIMENSIONAL CUTTING  
STOCK PROBLEM



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)  
Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2019  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบไม่มีถ่วงสำหรับปัญหาการตัดวัสดุแบบ  
หนึ่งมิติกรณีศึกษาบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มอ่อน  
โดย ธีรดา มหายน  
สาขาวิชา การจัดการงานวิศวกรรม แผนก ก แบบ ก 2 ปริญญาโทมหาบัณฑิต  
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

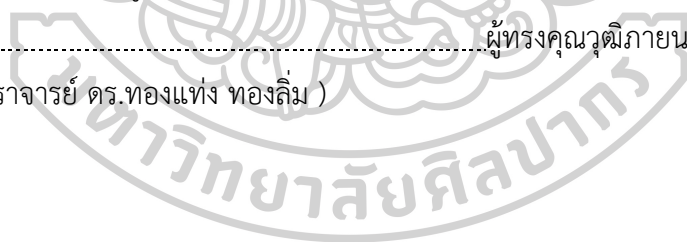
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท้ ทองลิ้ม )



60405313 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง, ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ

นางสาว อีรดา มหายน : วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วงสำหรับปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติกรณีศึกษาบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มอ่อน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

งานวิจัยนี้ได้นำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการเมตาฮิวริสติก มาพัฒนาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติเพื่อสร้างโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม โดยมีจุดประสงค์คือ 1) เพื่อศึกษาวิธีการสำหรับปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติและขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง 2) เพื่อสร้างโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม และ 3) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบการตัดม้วนฟิล์มของโรงงานกรณีศึกษา หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมออกแบบการตัดแล้ว จึงจะจัดตั้งปัญหาเพื่อทำการทดสอบโดยเลือกปัญหาจริงจากบริษัทกรณีศึกษา เพื่อวัดประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัด เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีการออกแบบการตัดจากการทำงานจริงของพนักงานผู้ชำนาญงาน ข้อมูลที่จะนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ได้แก่ จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ใช้ในการตัด (Number of rolls), ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด (%Waste), ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์ (%Utilization) และระยะเวลาในการดำเนินการ (Processing time) จากผลการวิจัยพบว่า โปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลได้รวดเร็วกว่าการออกแบบการตัดของพนักงาน และลดจำนวนเศษที่เหลือจากการตัดได้มากกว่าวิธีการออกแบบการตัดโดยพนักงาน 1.27 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนการใช้ม้วนฟิล์มตั้งต้นได้ร้อยละ 9 หากคิดเป็นมูลค่า สามารถประหยัดได้ถึง 194,000 บาท

60405313 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)

Keyword : Gravitational Search Algorithm, One-dimensional Cutting Stock Problem

MISS TEERADA MAHAYANO : A GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM FOR ONE-DIMENSIONAL CUTTING STOCK PROBLEM THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. CHOOSAK PORNSING

These research make use of the Gravitational Search Algorithm, which is one of the metaheuristic method. It is developed together with the mathematical model of the one-dimensional cutting stock problem. Then, cutting film roll design mathematical program will be created. Its objectives are 1) to study methods for one-dimensional cutting stock problem and gravitational search algorithm methods, 2) to create film roll cutting design mathematical program, and 3) to increase the efficiency of film roll cutting process in the case study factory. When the accuracy of the film roll cutting design mathematical program is approved, the problem selected by the real issue in the case study factory will be set and tested in order to compare the efficiency of the results between the film roll cutting design mathematical program and the staff's cutting design. The analyzed data include the total number of rolls, the percentage of the total scraps, the percentage of utilization and processing time. The results show that film roll cutting design mathematical program takes faster processing time than the staff's cutting design. It reduces the amount of scraps left from cutting more than the cutting method by the staff by 1.27 percent. In addition, it can reduce the use of the initial film roll by 9 percent. The cost can be saved up to 194,000 baht.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์ ที่คอยให้คำแนะนำ ทั้งยังถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ หลักการ รวมทั้งแนวคิด และคอยผลักดันให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและครบถ้วนตามวัตถุประสงค์

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท่ง ทองลิ่ม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้ผ่านไปได้อย่างราบรื่น และขอขอบพระคุณบุคลากรโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพ่อแม่และเพื่อนที่คอยช่วยเหลือและคอยสนับสนุนทุกๆด้าน ในการศึกษา ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ธีรดา มหายน

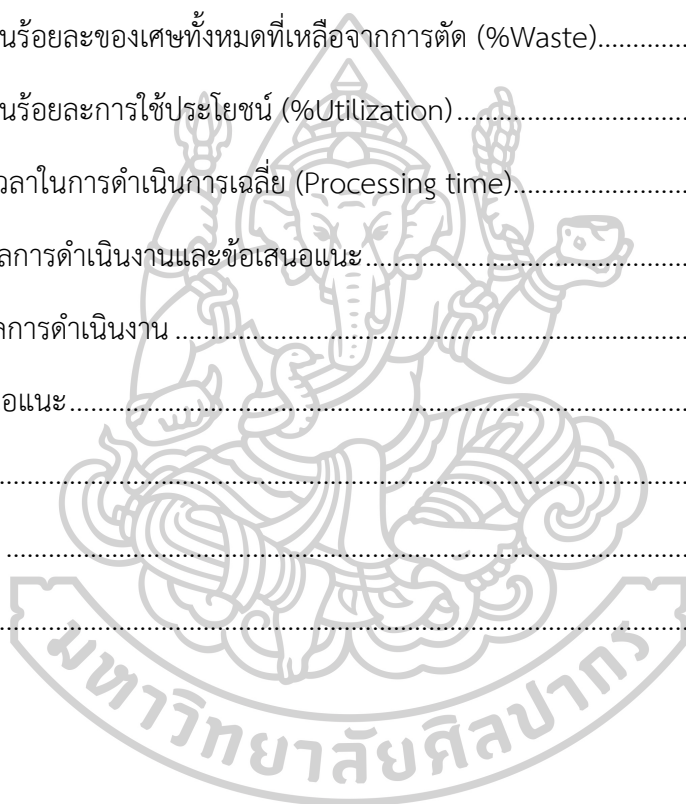


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 หลักการทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem Theory).....	5
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem Theory).....	9
2.3 แบบจำลองทั่วไปของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem).....	11
2.4 การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Optimization).....	13
2.5 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm).....	21
2.6 วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE).....	26
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related research).....	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33



3.1	ศึกษาวิธีการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม โดยใช้ความชำนาญของพนักงาน .....	34
3.2	พัฒนาโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม.....	35
3.3	การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	41
3.4	การวัดประสิทธิภาพคำตอบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	44
บทที่ 4	ผลและวิเคราะห์ผล.....	46
4.1	จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกใช้ในการตัด (Number of rolls).....	46
4.2	ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด (%Waste).....	48
4.3	ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์ (%Utilization).....	48
4.4	ระยะเวลาในการดำเนินการเฉลี่ย (Processing time).....	49
บทที่ 5	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1	สรุปผลการดำเนินงาน.....	52
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	53
ภาคผนวก.....		54
รายการอ้างอิง.....		86
ประวัติผู้เขียน.....		89



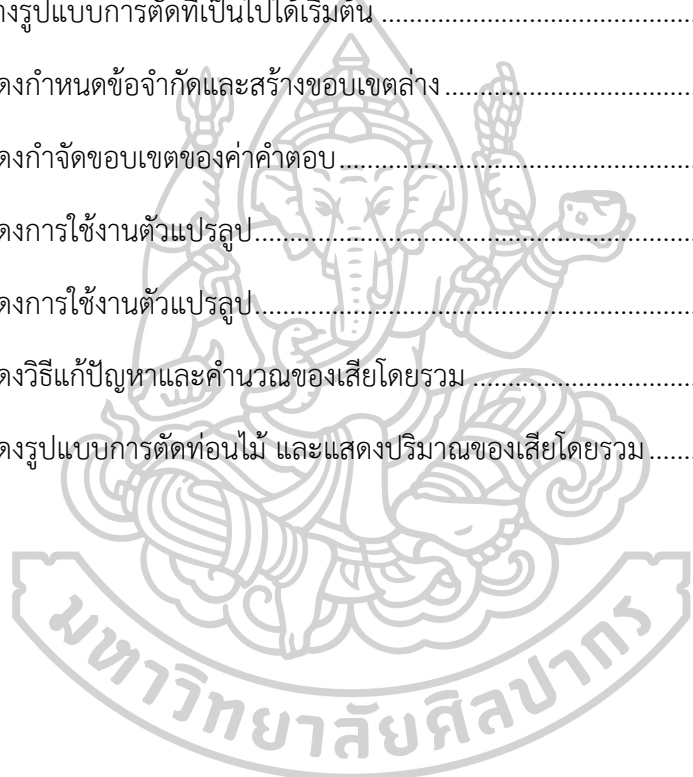
## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงความหลากหลายของปัญหาการตัดและการบรรจุ .....	6
ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้ง 4 งานในตัวอย่าง .....	14
ตารางที่ 3 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้พร้อมทั้งค่าสมการเป้าหมาย .....	14
ตารางที่ 4 รายละเอียดการคำนวณหาค่าผลรวมเวลาเสร็จ (Total Completion Time).....	16
ตารางที่ 5 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้พร้อมทั้งค่าสมการเป้าหมายและข้อจำกัด .....	16
ตารางที่ 6 ตารางมาตรฐานของวิธีการทากูชิ .....	28
ตารางที่ 7 แสดงวิธีปรับตั้งค่าปัจจัยในแต่ละครั้งของการทดลอง .....	30
ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	34
ตารางที่ 9 การเลือกพารามิเตอร์และระดับของพารามิเตอร์ .....	41
ตารางที่ 10 การทดสอบที่ออกแบบโดยใช้ Taguchi Orthogonal Array L'16 .....	42
ตารางที่ 11 แสดงค่าคำตอบโดยเฉลี่ยของทั้ง 16 การทดสอบจากวิธีการทากูชิ .....	43
ตารางที่ 12 ตัวอย่างของปัญหาจากคำสั่งซื้อของลูกค้า 4 ตัวอย่าง .....	45
ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ใช้ในการตัด .....	46
ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบจำนวนเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด .....	48
ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบร้อยละการใช้ประโยชน์ .....	49
ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดำเนินการ .....	49
ตารางที่ 17 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มและ วิธี LP .....	51
ตารางที่ 18 ตัวอย่างปัญหาจากงานวิจัยของ (Belov & Scheithauer, 2003).....	56
ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1,000 ขนาดความยาว.....	70

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย.....	3
ภาพที่ 2 แสดงปัญหาการตัดเหล็กเส้น (1 มิติ).....	7
ภาพที่ 3 แสดงปัญหาการตัดแผ่นอลูมิเนียม (2 มิติ) .....	8
ภาพที่ 4 แสดงปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าเข้าสู่สินค้า (3 มิติ) .....	9
ภาพที่ 5 แผนผังวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาที่มีชุดของคำตอบที่เป็นไปได้แน่นอน .....	18
ภาพที่ 6 แสดงภาพแรงดึงดูระหว่างมวลแต่ละมวล.....	22
ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานทั่วไปของ GSA .....	26
ภาพที่ 8 รหัสเทียม (Pseudo Code) ของ GSA .....	26
ภาพที่ 9 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ตารางแนวฉาก .....	28
ภาพที่ 10 ตัวอย่างม้วนฟิล์มสำหรับห่ออาหาร.....	33
ภาพที่ 11 แสดงรูปแบบการตัดที่ได้จากการออกแบบของพนักงานผู้ชำนาญงาน .....	35
ภาพที่ 12 ม้วนฟิล์มตั้งต้นขนาดมาตรฐานที่มีจำนวนมากพอ.....	39
ภาพที่ 13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	40
ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้น (ม้วน) .....	47
ภาพที่ 15 แผนภูมิเส้นแสดงเวลาที่ใช้ในการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม.....	50
ภาพที่ 16 Folder ของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	59
ภาพที่ 17 Folder ของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	59
ภาพที่ 18 หน้าต่างของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม .....	60
ภาพที่ 19 แสดงวิธีการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม .....	61
ภาพที่ 20 แสดงวิธีการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม .....	61
ภาพที่ 21 แสดงการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม.....	62

ภาพที่ 22 แสดงการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดไม้วงฟิล์ม .....	62
ภาพที่ 23 แสดงวิธีการเปิดไฟล์ข้อมูล excel.....	63
ภาพที่ 24 แสดงข้อมูลในไฟล์ ‘data.xlsx’ .....	63
ภาพที่ 25 แสดงข้อมูลในไฟล์ ‘data1.xlsx’ .....	64
ภาพที่ 26 กำหนดความยาวท่อนไม้ตั้งต้น.....	66
ภาพที่ 27 กำหนดความยาวและจำนวนที่ต้องการตัด .....	66
ภาพที่ 28 สร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้เริ่มต้น .....	66
ภาพที่ 29 แสดงกำหนดข้อจำกัดและสร้างขอบเขตล่าง .....	67
ภาพที่ 30 แสดงการจัดขอบเขตของค่าคำตอบ .....	67
ภาพที่ 31 แสดงการใช้งานตัวแปรรูป .....	67
ภาพที่ 32 แสดงการใช้งานตัวแปรรูป .....	67
ภาพที่ 33 แสดงวิธีแก้ปัญหาและคำนวณของเสียโดยรวม .....	68
ภาพที่ 34 แสดงรูปแบบการตัดท่อนไม้ และแสดงปริมาณของเสียโดยรวม .....	68



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ (Packaging Industry) ถือว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสนับสนุน (Supporting Industry) ในอุตสาหกรรมหลากหลายสาขา เนื่องจากผลิตภัณฑ์เกือบทุกชนิดต้องอาศัยบรรจุภัณฑ์ในการบรรจุหีบห่อเพื่อป้องกันความเสียหายและรักษาคุณภาพของสินค้า ตั้งแต่กระบวนการขนส่งไปจนถึงการจำหน่ายถึงผู้บริโภค นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ยังเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อาทิ การสร้างภาพลักษณ์ สร้างการจดจำแก่ผู้บริโภค เป็นต้น ในการใช้งานบรรจุภัณฑ์นั้น หากแบ่งการใช้งานตามกลุ่มอุตสาหกรรม พบว่าถูกนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารมากที่สุด คิดเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 38 ของการใช้ทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม “บรรจุภัณฑ์พลาสติก” ในปัจจุบันก็มีแนวโน้มความต้องการในตลาดเพิ่มมากขึ้นตามการเติบโตของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน จากผลการวิจัยของศูนย์ข้อมูลและคาดการณ์เทคโนโลยีสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) เปิดเผยว่า อุตสาหกรรมอาหารพร้อมทาน เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติบโตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากมูลค่าตลาดและอัตราการเติบโตของผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมทานของโลกที่ปรับตัวสูงขึ้นและคาดการณ์ว่าจะมีการเติบโตเฉลี่ยระหว่างปี 2560 -2565 ร้อยละ 3.7 ต่อปี (ประวีรา โพธิ์สุวรรณ, 2562)

จากรายงานพบว่า “บรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดอ่อนตัว” มีแนวโน้มเติบโตของตลาดมากที่สุดในช่วงที่ผ่านมา เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สามารถตอบโจทย์การใช้งานได้หลายรูปแบบ สามารถประหยัดต้นทุนการขนส่งสินค้าได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้เราสามารถผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีลักษณะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer Packaging) แตกต่างจากในอดีตที่เป็นแบบชั้นเดียว และในอนาคตคาดว่า กระแสการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของโลกจะมุ่งเน้นไปในทิศทางดังกล่าวมากยิ่งขึ้น เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีและนวัตกรรมกับการออกแบบ การพิมพ์และการบรรจุหีบห่อ เพื่อส่งเสริมให้บรรจุภัณฑ์มีประโยชน์

สวยงาม และคงไว้ซึ่งความเป็นเอกลักษณ์ที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ได้ (ศูนย์ข้อมูลและวิจัยตลาดอุตสาหกรรมพลาสติก สถาบันพลาสติก, 2562)

บรรดาผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดฟิล์มอ่อนจึงต้องมีการแข่งขัน ต้องมีการลดต้นทุนในหลายด้าน เพื่อต่อสู้กับกลุ่มผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทเดียวกัน จึงพยายามพัฒนาการผลิต การออกแบบ โดยหนึ่งในกระบวนการผลิตนั้น ก็คือการตัดสินใจเลือกตัดม้วนฟิล์มจากม้วนใหญ่ ๆ แบ่งออกเป็นม้วนเล็กตามความต้องการที่กำหนด โดยมีจุดประสงค์แตกต่างกันออกไป เช่น เพื่อให้มีต้นทุนถูกที่สุด เพื่อให้ใช้เวลาออกแบบสั้นที่สุด เพื่อเหลือเศษน้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาหนึ่งในงานวิศวกรรม ดังนั้น เราจึงวางแผนจะใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในเรื่องของการออกแบบงานตัดม้วนฟิล์ม โดยคาดหวังว่าจะช่วยให้ผู้ผลิตอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกนี้แข็งแรงพอที่จะต่อสู้กับบรรดาผู้ผลิตอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกรายอื่นได้ จึงเป็นปัญหาที่มาของการวิจัยครั้งนี้

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น พบว่า เป็นปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการตัดวัสดุ (Cutting Stock Problem) โดยลักษณะทั่วไปของปัญหาการตัดวัสดุประกอบด้วย การตัดชิ้นส่วนขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในคลังเพื่อแบ่งออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ตามความต้องการที่กำหนด เนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาแบบ NP-HARD ที่มีความซับซ้อนและใช้เวลานานในกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุด เป็นปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่พหุนาม (Polynomial Time) ปัญหาการตัดวัสดุเป็นปัญหาสำคัญที่สามารถพบเจอได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมเหล็กและอลูมิเนียม อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ หรือแม้แต่ในกระบวนการขนส่งและคลังสินค้า เป็นต้น

เนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาแบบ NP-HARD วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) จึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการหาคำตอบ (Christian & Andrea, 2003) กล่าวไว้ว่า เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น วิธีการทางเมตาฮิวริสติกอาจจะมีทั้งแบบง่ายไม่ซับซ้อน เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) หรือแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm) มาพัฒนาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติเพื่อสร้างโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบที่ได้จากการออกแบบการตัดโดยพนักงานผู้ชำนาญงาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการสำหรับปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติและขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

1.2.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบการตัดม้วนฟิล์มของบริษัทกรณีศึกษา

## 1.3 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้โปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มที่มีประสิทธิภาพ
- 1.4.2 สามารถลดต้นทุนในกระบวนการตัดม้วนฟิล์มได้
- 1.4.3 สามารถลดจำนวนของม้วนฟิล์มตั้งต้น และเศษที่เหลือจากการตัดได้
- 1.4.4 สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ (%Utilization) ในแต่ละคำสั่งซื้อได้
- 1.4.5 สามารถลดระยะเวลาในการออกแบบการตัดได้





## บทที่ 2

### หลักการทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆของปัญหาการตัดวัสดุ และอธิบายถึงนิยาม ลักษณะและประเภทของปัญหา แบบจำลองทั่วไปของปัญหา การการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างโปรแกรมออกแบบการตัดแผ่นฟิล์มที่มีประสิทธิภาพ โดยจะประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem Theory)
- 2.2 ประเภทของปัญหาการตัดวัสดุ (Category of Cutting Problems)
- 2.3 แบบจำลองทั่วไปของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One Dimensional Cutting Stock Problem)
- 2.4 การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Optimization)
- 2.5 ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm)
- 2.6 วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem Theory)

ปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem) เป็นปัญหาที่มีประวัติความเป็นมาอย่างยาวนานและถูกพบว่าเป็นปัญหาดังกล่าวปรากฏหลากหลายชื่อในวรรณกรรมต่าง ๆ เช่น Cutting Stock, Bin Packing, Trim Loss, Strip Packing, Vector Packing, Knapsack (Packing), Vehicle Loading, Pallet Loading, Container Loading และ Car Loading Problems เป็นต้น ตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของปัญหาการตัดและการบรรจุ ซึ่งรวบรวมมาจากแบบสำรวจของ Kantorovich (Dyckhoff, 1990)

ตารางที่ 1 แสดงความหลากหลายของปัญหาการตัดและการบรรจุ

ผู้แต่ง	ชื่อเรียก	สาขาวิชา
Brown (1971)	Packing, depletion	Computer Science
Salkin/ de Kluyver (1975)	Knapsack	Logistics
Golden (1976)	Cutting stock	Industrial Engineering
Hinxman (1980)	Trim loss, Assortment	Operational Research
Garey/Johnson (1981)	Bin packing	Combinatorial Optimization
Israni/Sanders (1982)	Cutting stock, layout	Manufacturing
Rayward-Smith/Shing (1983)	Bin packing	Mathematics
Coffman et al. (1984)	Bin packing	Computer Science
Dowland (1985)	Packing	Operational Research
Dyckhoff et al. (1985)	Trim loss	Management
Israni/Sanders (1985)	Parts nesting	Production
Berkey/Wang (1985)	Bin packing	Operational Research
Dudzinski/Walukiewicz (1987)	Knapsack	Operational Research
Martello/Toth (1987)	Knapsack	Mathematics
Rode/Rosenberg (1987)	Trim loss	Engineering/Production
Dyckhoff et al. (1988)	Cutting stock	Production

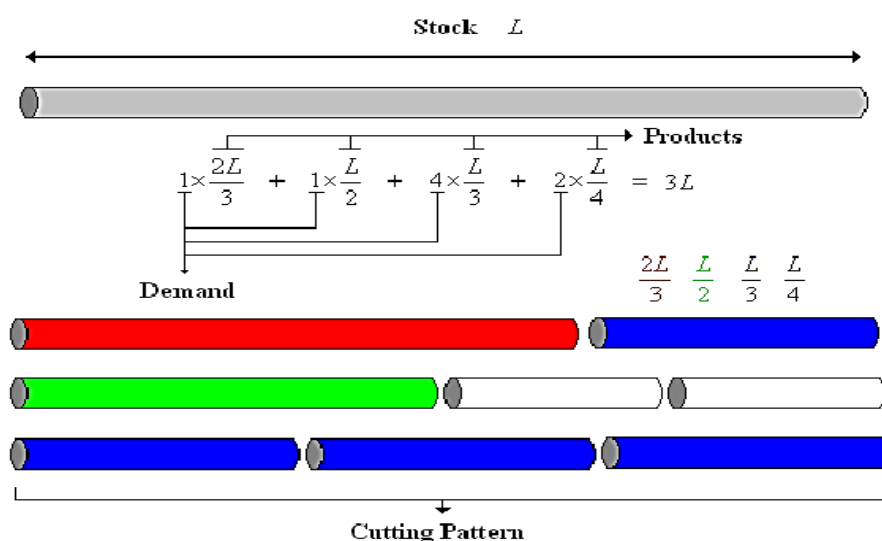
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก (Dyckhoff, 1990)

ปัญหาการตัดวัสดุ โดยทั่วไปหมายถึง การตัดวัสดุชิ้นใหญ่ที่มีอยู่ในคลังเพื่อผลิตเป็นวัสดุชิ้นเล็กตามจำนวนที่ต้องการ ปัญหาการตัดวัสดุเกิดขึ้นครั้งแรกในปีคริสต์ศักราช 1939 โดยนักเศรษฐศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อว่า (Kantorovich, 1960) เป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่การวิจัยดำเนินงานเริ่มเข้ามามีบทบาทในทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม จนกระทั่งในปีคริสต์ศักราช 1961 ถือเป็นก้าวสำคัญที่ทำให้ปัญหาการตัดวัสดุเริ่มเป็นที่แพร่หลายจากงานวิจัยของ (Gilmore & Gomory, 1961) ได้สร้างรูปแบบการตัด (Pattern Generation Technique) ในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อลดความสูญเสียเศษของวัสดุโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ตั้งแต่นั้นมาปัญหาการตัดวัสดุก็เริ่มแพร่หลาย (Sweeney, 1991) ได้ระบุว่าม้งานวิจัยและวารสาร

มากกว่า 500 ฉบับที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการตัด แต่สาเหตุหลักที่ทำให้ปัญหานี้ได้รับความสนใจมากขึ้นคือ ปัญหาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ในหลากหลายอุตสาหกรรม ทำให้เกิดแรงจูงใจอย่างมากในการค้นหาวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ (Haessler & Sweeney, 1991) ในปัจจุบันจุดประสงค์ของการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมีอยู่มากมายหลายปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น เพื่อลดจำนวนของเศษวัสดุที่เหลือจากการตัด เพื่อลดต้นทุน เพื่อลดเวลาในการผลิต เป็นต้น ปัญหาประเภทนี้จึงสามารถพบเจอได้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น กระดาษ อลูมิเนียม แก้ว เหล็ก ไม้ และเฟอร์นิเจอร์ และอื่นๆ เพื่อให้ง่ายและชัดเจนต่อการพิจารณาลักษณะและประเภทของปัญหา (Dyckhoff, 1990) ได้พัฒนารูปแบบและจัดหมวดหมู่ของปัญหาการตัดและการบรรจุอย่างละเอียด และสรุปเป็น 4 หมวดสัญลักษณ์ออกมาซึ่งจะแสดงให้เห็นคุณสมบัติ 4 อย่าง ได้แก่ จำนวนมิติของข้อมูล เงื่อนไขของการจัดรูปแบบของวัสดุขนาดใหญ่ และรูปแบบของวัสดุขนาดเล็กเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงปัญหาดังกล่าว จะยกตัวอย่างที่พบเจอได้ทั่วไป คือ ปัญหาการตัดและการบรรจุ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 2.1 ปัญหาการตัดเหล็กเส้น (1 มิติ)

กำหนดให้มีเหล็กเส้นที่มีขนาดความยาวมาตรฐานเท่าๆกันจำนวนหนึ่ง และได้รับคำสั่งซื้อซึ่งประกอบด้วยความยาวและจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการ หาวีธีตัดเหล็กเส้นตามคำสั่งซื้อโดยให้เหลือเศษเหล็กเส้นน้อยที่สุด รายละเอียดดังภาพที่ 2

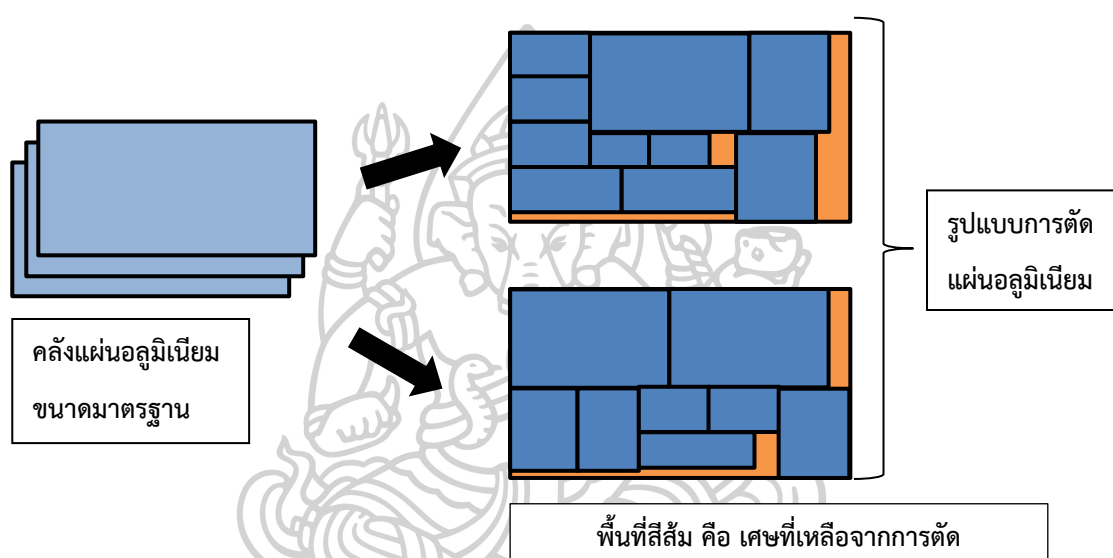


ภาพที่ 2 แสดงปัญหาการตัดเหล็กเส้น (1 มิติ)

ที่มา: (Berberler, Nuriyev, & Yildirim, 2011)

ตัวอย่างที่ 2.2 ปัญหาการตัดแผ่นอลูมิเนียม (2 มิติ)

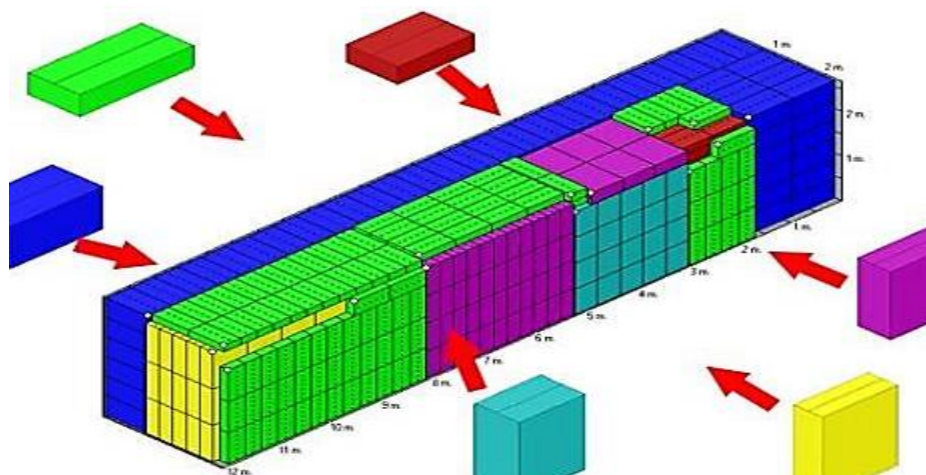
กำหนดให้มีแผ่นอลูมิเนียมขนาดใหญ่ที่มีขนาดความยาวมาตรฐานเท่ากัน และได้รับคำสั่งซื้อซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนแผ่นอลูมิเนียมภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้างและความยาวและจำนวนที่ต้องการ หาวิธีตัดแผ่นอลูมิเนียมตามคำสั่งซื้อโดยให้เหลือเศษน้อยที่สุด รายละเอียดดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงปัญหาการตัดแผ่นอลูมิเนียม (2 มิติ)

ตัวอย่างที่ 2.3 ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าในตัวสินค้า (3 มิติ)

กำหนดให้มีตู้สินค้า 1 ตู้ โดยทราบขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของตู้ และกำหนดให้มีกล่องสินค้าขนาดต่างๆ กันจำนวนหนึ่ง หาวิธีเลือกกล่องสินค้ามาบรรจุลงในตู้สินค้า เพื่อบรรจุให้ได้ปริมาตรมากที่สุด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้สินค้า (3 มิติ)

ที่มา: <https://ukvn-logistics.org/wp-content/uploads/2016/10/cargooptimizer-463x348.jpg> เข้าถึงเมื่อวันที่ 19-04-2019

## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem Theory)

(Dyckhoff, 1990) ได้พัฒนารูปแบบและจัดหมวดหมู่ของปัญหาการตัดและบรรจุอย่างละเอียด และสรุปเป็น 4 หมวดสัญลักษณ์ออกมาซึ่งจะแสดงให้เห็นคุณสมบัติ 4 หมวด ดังต่อไปนี้

2.2.1 มิติของวัสดุชิ้นใหญ่ (Dimensionality) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการแยกลักษณะของปัญหาการตัดวัสดุ ว่ามีลักษณะอย่างไร สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ

- 1 คือ ปัญหา 1 มิติ (One-Dimensional) จะคำนึงถึงมิติของความยาวเท่านั้น เช่น ปัญหาการตัดท่อเหล็ก

- 2 คือ ปัญหา 2 มิติ (Two-Dimensional) จะคำนึงถึงมิติของพื้นที่ เช่น ปัญหาการตัดแผ่นอลูมิเนียม

- 3 คือ ปัญหา 3 มิติ (Three-Dimensional) จะคำนึงถึงมิติของปริมาตร เช่น ปัญหาการบรรจุกล่องลงตู้สินค้า (Container Loading Problem)

- N คือ ปัญหาที่มากกว่า 3 มิติขึ้นไป (Muti-Dimensional) จะคำนึงถึงมิติอื่นที่มากกว่ามิติของปริมาตร ปัญหาการบรรจุกล่องลงตู้สินค้า ที่มีการเพิ่มมิติของเวลา หรือ มิติของน้ำหนักเข้าไปด้วย เป็นต้น

แม้ว่าอาจจะดูง่ายสำหรับการจำแนกประเภทมิติของปัญหา แต่ก็มีบางกรณีที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการบรรจุแท่นบรรจุสินค้า หรือ พาเลท (Pallet) มักจะถือเป็นปัญหาแบบสองมิติ แต่ถ้ามีการเพิ่มมิติของความสูงของแท่นบรรจุสินค้าเข้ามาพิจารณาด้วย ก็จะถือว่าเป็นมิติที่สามเข้ามาเกี่ยวข้อง ในกรณีนี้บางงานวิจัยอาจจะใช้คำว่า 'มิติ 2 + 1' แทน '3 มิติ' ก็เป็นไปได้

### 2.2.2 เงื่อนไขของการจัด (Kind of Assignment) สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ

- B คือ ใช้วัสดุชิ้นใหญ่ทั้งหมด (อาจใช้วัสดุชิ้นเล็กไม่ทั้งหมด) ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการบรรจุของลงตู้สินค้า เพราะวัสดุชิ้นใหญ่คือตู้สินค้า ต้องใช้ทั้งหมด ถึงแม้จะบรรจุของไม่เต็มตู้ก็ตาม

- V คือ ใช้วัสดุชิ้นเล็กทั้งหมด (อาจใช้วัสดุชิ้นใหญ่ไม่ทั้งหมด) ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการตัดท่อ ปัญหาการตัดแผ่นเหล็ก จะต้องตัดให้ครบจำนวนตามคำสั่งซื้อ นั่นคือจะต้องใช้วัสดุชิ้นเล็กทั้งหมด

### 2.2.3 รูปแบบของวัสดุขนาดใหญ่ (Assortment of large objects) สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ

- O (One object) คือ มีวัสดุชิ้นใหญ่เพียงชิ้นเดียว ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการบรรจุของลงตู้สินค้า เพราะมีวัสดุขนาดใหญ่เพียงชิ้นเดียวคือ ตู้สินค้า

- I (Identical figure) คือ มีวัสดุชิ้นใหญ่หลายชิ้น และมีลักษณะเหมือนกันทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการตัดท่อ ปัญหาการตัดแผ่นอลูมิเนียม เนื่องจาก ท่อทุกชิ้นและแผ่นอลูมิเนียมทุกแผ่นในคลังมีขนาดเท่าๆกันทั้งหมด

- D (Different figures) คือ มีวัสดุชิ้นใหญ่หลายชิ้น และมีลักษณะแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการตัดกระดาษ ที่มีแผ่นกระดาษในคลังหลายขนาด

### 2.2.4 รูปแบบของวัสดุขนาดเล็ก (Assortment of small items) สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ

- F (Few items (of different figures)) คือ วัสดุขนาดเล็กมีจำนวนน้อย และมีขนาดต่างกัน

- M (Many items of many different figures) คือ วัสดุขนาดเล็กมีจำนวนมาก และมีขนาดหลากหลาย

- R (Many items of relatively few different (non-congruent) figures) คือ วัสดุขนาดเล็กมีจำนวนมาก และมีขนาดไม่หลากหลาย

- C (Congruent figures) คือ วัสดุขนาดเล็กมีขนาดเท่าๆกันทั้งหมด

ในงานวิจัยฉบับนี้ จะเลือกศึกษาปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ ดังนั้น จะขออธิบายเกี่ยวกับ ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติโดยละเอียด สำหรับผู้สนใจในปัญหาการตัดวัสดุแบบสองหรือสามมิติ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือของ (Dyckhoff, 1990) “A typology of cutting and packing problems”.

## 2.3 แบบจำลองทั่วไปของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem)

### 2.3.1. Standard Formulations

สำหรับตัวแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มถูกเขียนขึ้นครั้งแรกโดย (Kantorovich, 1960) โดยแสดงรูปแบบสมการโปรแกรมเชิงเส้นตรง ได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} y_j \quad (2.1)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \geq b_i, \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in I} w_i X_{ij} \leq W_j y_j, \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \geq 0, \text{ integer} \quad (2.5)$$

โดยที่

$W_j$ : ความยาวมาตรฐานของวัสดุขนาดใหญ่ก้อนที่  $j$

$w_i$ : ความยาวของวัสดุขนาดเล็ก

ให้ตัวแปรตัดสินใจ คือ

$y_j$  : จำนวนก้อนที่  $j$  ที่ถูกเลือกมาตัด

และกำหนดพารามิเตอร์ ดังนี้

$X_{ij}$ : จำนวนชิ้นของวัสดุขนาดเล็กที่ต้องการตัดมีขนาดความยาว  $w_i$

$b_i$  : จำนวนวัสดุขนาดเล็กที่ต้องการ

จากแบบจำลองข้างต้น มีตัวแปรแบบเลขฐานสอง (Binary) และตัวแปรแบบจำนวนเต็ม โดยกำหนดให้ตัวแปร  $y_j$  เป็นตัวแปรตัดสินใจในการเลือกท่อนที่  $j$  และ  $X_{ij}$  เป็นจำนวนชิ้นของวัสดุที่ต้องการตัดมีขนาดความยาว  $w_i$  และอยู่ในท่อนที่  $j$  และ  $W_i$  คือความยาวมาตรฐานของวัสดุขนาดใหญ่ท่อนที่  $i$  ส่วนสมการที่ (2.2) เป็นสมการข้อจำกัดของปริมาณความต้องการ ( $b_i$ ) ในขณะที่สมการที่ (2.3) เป็นสมการข้อจำกัดจากที่นำมาจากปัญหาถุงกระสอบ (Knapsack Problem) สำหรับการตัดวัสดุในแต่ละท่อน โดยที่  $n$  เป็นขอบเขตบน (Upper Bound) ของจำนวนท่อนวัสดุที่ต้องการ ในสมการที่ (2.4) เป็นการกำหนดให้  $y_j$  เป็นตัวแปรแบบเลขฐานสอง (Binary) ถ้า  $y_j = 1$  ท่อนวัสดุขนาดใหญ่  $k$  จะถูกนำมาตัด แต่ถ้า  $y_j = 0$  เป็นกรณีอื่น และสมการ (2.5) สมการข้อจำกัดเพื่อให้ขอบเขตล่าง (Lower Bound) ของจำนวนชิ้นวัสดุที่ต้องการตัด  $X_{ij} \geq 0$

### 2.3.2. The Pattern-Oriented Formulations

แบบจำลองที่มุ่งเน้นรูปแบบของ (Gilmore & Gomory, 1961) เป็นไปตามการกำหนดของ Kantorovich ได้กำหนดปัญหาการตัดวัสดุในภาพของแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรง โดยแสดงสมการโปรแกรมเชิงเส้นตรง ได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Minimize } \sum_{i \in I} x_i \quad (2.6)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i \in I} a_{ij} x_i \geq b_j, \forall j \in J \quad (2.7)$$

$$x_i \geq 0, \text{ integer} \quad (2.8)$$

โดยที่

$I$ : ชุดของรูปแบบการตัด (Set of patterns)

$J$ : ชุดของวัสดุขนาดเล็กที่ต้องการตัด (Set of Lengths)

ให้ตัวแปรตัดสินใจ คือ

$x_i$  : จำนวนวัสดุขนาดใหญ่ที่ตัดตามรูปแบบ  $i$  (number of bar cut according to pattern  $i$ )

และกำหนดพารามิเตอร์ ดังนี้



$a_{ij}$ : จำนวนชิ้นของความยาว  $j$  ของท่อนที่ตัดตามรูปแบบ  $i$

$b_j$ : จำนวนวัสดุขนาดเล็กที่ต้องการของความยาว  $j$

จากแบบจำลองข้างต้น จะเห็นว่าวัตถุประสงค์ของแบบจำลองคือ ลดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามสมการที่ (2.6) ซึ่งประกอบด้วยวัสดุขนาดใหญ่ทั้งหมดที่ใช้ สมการที่ (2.7) เป็นข้อจำกัดที่ทำให้แน่ใจว่ามีจำนวนของวัสดุขนาดเล็กที่ต้องการเพียงพอในการตัดจากท่อนยาว และสมการที่ (2.8) เป็นสมการที่ทำให้สมการทั้งหมดเป็นจริง คือ ไม่ติดค่าลบ

ความยากในการใช้แบบจำลองนี้คือรูปแบบการตัดจำนวนมากที่จะระบุปัญหาการปฏิบัติเนื่องจากตัวเลขรูปแบบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณเมื่อมีความหลากหลายของวัสดุขนาดเล็กมาก และมีความต้องการเพิ่มขึ้น

## 2.4 การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Optimization)

Combinatorial Optimization (CO) คือ การหาคำตอบที่ดีที่สุดจากชุดของคำตอบที่เป็นไปได้ (Set of Feasible Solution) ที่ทราบแน่นอนว่ามีคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนกี่คำตอบ ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดนี้อาจจะเป็นคำตอบที่ต้องการหาค่ามากที่สุดหรือปัญหาที่หาค่ามากที่สุด (Maximization Problem) เช่น หากกำไรสูงสุด หรือปัญหาที่หาค่าน้อยที่สุด (Minimization Problem) เช่น หาต้นทุนต่ำที่สุด ปัญหา CO สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในปัญหาด้านการวางแผนการผลิตและโลจิสติกส์ เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม (Production Lot Sizing Problem) ปัญหาการจัดการวัสดุคงคลัง (Inventory Management Problem) หรือปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) เป็นต้น ในทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบาย CO ได้ดังนี้

ถ้ากำหนดเซต  $(S, f, \Omega)$  เมื่อ  $S$  คือ ชุดคำตอบของทั้งหมด (มีทั้งคำตอบที่เป็นไปได้และคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ภายใต้ข้อจำกัด)  $f$  คือ ค่าสมการเป้าหมายที่สอดคล้องกับคำตอบ  $S$  นั้น หรือเขียนได้ว่า  $f(s)$  เมื่อ  $s \in S$  และ  $\Omega$  คือ สมการข้อจำกัดต่างๆ ชุดคำตอบที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัด  $\Omega$  จะถูกเรียกว่า ชุดของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) จากจำนวนคำตอบทั้งหมด  $S$  จะมีชุดคำตอบที่เป็นไปได้อยู่จำนวนหนึ่ง สมมติแทนด้วย  $S'$  เมื่อ  $S' \subseteq S$  คำตอบที่ดีที่สุดภายในชุดคำตอบ  $S'$  แทนค่าด้วย  $S^*$  ถ้าเป็นปัญหาที่หาค่าน้อยที่สุดจะหาคำตอบที่  $f(s^*) \leq f(s)$  สำหรับทุกคำตอบใน

ชุด  $S$  และ  $s^* \in S$  สำหรับปัญหาที่หาค่ามากที่สุด จะหาคำตอบที่  $f(s^*) \geq f(s)$  สำหรับทุกคำตอบในชุด  $S$  เมื่อ  $s^* \in S$

**ตัวอย่าง 2.4** มีงานอยู่ทั้งหมด 4 งานคือ  $J_1, J_2, J_3$  และ  $J_4$  ซึ่งต้องการหาลำดับการผลิตของงานบนเครื่องจักรเครื่องหนึ่ง โดยงานแต่ละงานมีเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้นๆ ในเครื่องจักรเครื่องหนึ่งให้แล้วเสร็จจึงจะสามารถผลิตงานต่อไปได้ ตัวอย่างเช่น ผลิตงาน  $J_4$  แล้วผลิต  $J_2, J_3, J_1$  ตามลำดับ

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้ง 4 งานในตัวอย่าง

งาน	$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$
เวลาในการทำงาน (นาท)	5	7	6	8

จากตารางที่ 2 การจัดลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งสิ้นมี 4! วิธี หรือ 24 วิธี ซึ่งคำตอบทั้ง 24 คำตอบนี้เป็นสมาชิกของเซต  $S$  แต่ละวิธีจะให้ผลรวมของเวลาเสร็จที่ไม่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 3 ตารางที่ 3 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้พร้อมทั้งค่าสมการเป้าหมาย

จำนวน ( $n$ )	ลำดับงาน ( $s$ )	ผลรวมเวลาเสร็จ ( $f(s)$ )
1	$J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4$	61
2	$J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4$	60
3	$J_1 \rightarrow J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$	63
4	$J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4 \rightarrow J_3$	63
5	$J_1 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3$	64
6	$J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2$	61
7	$J_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4$	63
8	$J_2 \rightarrow J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_4$	64
9	$J_2 \rightarrow J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_1$	69
10	$J_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4$	63
11	$J_2 \rightarrow J_4 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3$	68

ตารางที่ 3 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้พร้อมทั้งค่าสมการเป้าหมาย (ต่อ)

จำนวน (n)	ลำดับงาน (s)	ผลรวมเวลาเสร็จ (f(s))
12	$J_2 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_1$	67
13	$J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4$	61
14	$J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_4$	63
15	$J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1$	67
16	$J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2$	62
17	$J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2$	65
18	$J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4 \rightarrow J_1$	66
19	$J_4 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3$	67
20	$J_4 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3$	69
21	$J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1$	69
22	$J_4 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$	66
23	$J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2$	67
24	$J_4 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3 \rightarrow J_1$	70

ชุดของคำตอบอื่น ๆ นอกเหนือจากเซต  $S$  ได้แก่ คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ เนื่องจากการจัดลำดับครั้งนี้จะต้องจัดงานเข้าเพียงครั้งเดียว ดังนั้นชุดของคำตอบที่เป็นไปไม่ได้หรือคำตอบที่เป็นสมาชิกของ  $S - \bar{S}$  มีหลายคำตอบ ยกตัวอย่างเช่น คำตอบที่มีการจัดงานใดงานหนึ่งซ้ำหลายครั้ง เช่น คำตอบ  $J_1 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1$  เป็นต้น

จากตารางที่ 3 การคำนวณหาเวลาเสร็จของงานแต่ละงาน สามารถคำนวณได้ดังนี้ สมมติให้การจัดลำดับการผลิตเป็น  $J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4$  งาน  $J_1$  เริ่มต้นที่เวลาที่ 0 และเสร็จสิ้นที่เวลาที่ 5 เนื่องจากงาน  $J_1$  มีเวลาในการทำงานเป็น 5 หน่วยเวลา และงาน  $J_2$  จะเริ่มต้นที่เวลาที่ 5 และเสร็จสิ้นในเวลาที่ 12 หรือมีค่าเท่ากับเวลาเริ่มต้นของงาน  $J_2$  บวกกับเวลาในการดำเนินการของงาน  $J_2$  ซึ่งมีค่าเป็น 7 ดังนั้นเวลาที่งานที่ 2 เสร็จจะมีค่าเท่ากับ  $5 + 7$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 และสำหรับงานอื่น ๆ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดการคำนวณหาค่าผลรวมเวลาเสร็จ (Total Completion Time)

งาน	ระยะเวลาทำงาน	เวลาเริ่ม	เวลาเสร็จ
1	7	0	5
2	6	5	12
3	8	12	18
4	5	18	26
ผลรวมเวลาดำเนินการเสร็จ			61

และผลรวมเวลาทำงานเสร็จเกิดจากการนำเวลาเสร็จของแต่ละงานมารวมกันในที่นี้จะได้ 61 จากตัวอย่างในตารางที่ 2 แสดงเซตคำตอบ  $S$  ซึ่งได้แก่  $f(s)$  ชุดของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดและ  $f(s)$  คือ ค่าสมการเป้าหมาย ซึ่งก็คือผลรวมเวลาที่เสร็จ ซึ่งจะมีคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งสิ้น 24 คำ คำคำตอบ และคำตอบที่ดีที่สุด ( $s^*$ ) จากบรรดาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ได้แก่ ลำดับ  $J_1-J_3-J_2-J_4$  ซึ่งให้ค่า  $f(s^*)$  เป็น 60 นอกจากข้อจำกัดเรื่องงานใด ๆ จะต้องอยู่ในลำดับเพียง 1 ครั้ง อาจจะมีการเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อลดปริมาณคำตอบในเซต  $S$  เช่น จำกัดให้งาน  $J_2$  จะดำเนินการก่อนงาน  $J_3$  ไม่ได้ดังนั้นเซต  $S$  ในตารางที่ 2.2 ที่งาน  $J_2$  อยู่ในลำดับก่อนหน้างาน  $J_3$  เช่น  $J_4 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3$  จะถูกตัดออกจากเซต  $S$  ดังนั้นชุดคำตอบที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขเพิ่มเติมสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คำคำตอบที่เป็นไปได้พร้อมทั้งค่าสมการเป้าหมายและข้อจำกัด

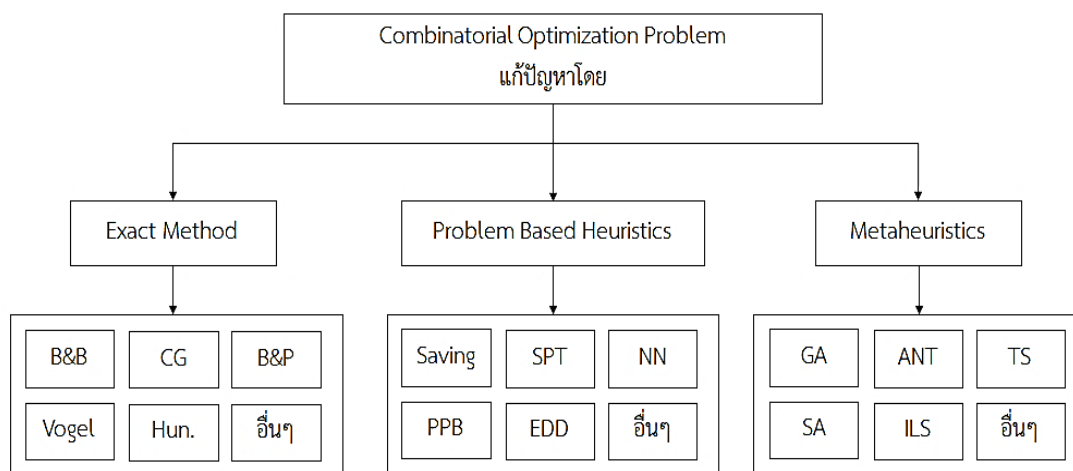
จำนวน ( $n$ )	ลำดับงาน ( $s$ )	ผลรวมเวลาเสร็จ ( $f(s)$ )
1	$J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4$	69
2	$J_1 \rightarrow J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$	65
3	$J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2$	68
4	$J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4$	70
5	$J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_4$	69
6	$J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1$	66

ตารางที่ 5 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้พร้อมทั้งค่าสมการเป้าหมายและข้อจำกัด (ต่อ)

จำนวน ( $n$ )	ลำดับงาน ( $s$ )	ผลรวมเวลาเสร็จ ( $f(s)$ )
7	$J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_4 \rightarrow J_2$	69
8	$J_3 \rightarrow J_4 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2$	67
9	$J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_4 \rightarrow J_1$	67
10	$J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2 \rightarrow J_1$	63
11	$J_4 \rightarrow J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$	63
12	$J_4 \rightarrow J_3 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2$	64

จะเห็นว่าคำตอบที่เป็นไปได้หรือเซตคำตอบ  $S$  จะมีปริมาณน้อยลงจาก 24 คำตอบดังแสดงในตารางที่ 3 เหลือเพียง 12 คำตอบดังในตารางที่ 5 และในบรรดาคำตอบที่เป็นไปได้หลังจากเพิ่มข้อจำกัดเข้าไป คำตอบที่ดีที่สุด ( $s^*$ ) คือ  $J_4-J_3-J_2-J_1$  หรือ  $J_4-J_1-J_3-J_2$  ซึ่งให้ค่า  $f(s^*)$  เท่ากันคือ 63

โดยวิธีการแก้ปัญหา CO นี้มีหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) จำพวกวิธี Brach And Bound, Branch And Price, Column Generation ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนปัญหาที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลานานในการคำนวณเพื่อหาคำตอบ สำหรับกลุ่มปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ๆ นั้น นักวิจัยพยายามพัฒนาวิธีการหลากหลายรูปแบบเพื่อแก้ปัญหา วิธีการเหล่านี้มีหลักการเดียวกันแต่สามารถใช้แก้ปัญหาได้หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น วิธีการจำลองแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีอาณานิคมมด วิธีการเหล่านี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มวิธีการที่เรียกว่าเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ในระยะเวลาอันสั้น แต่อาจจะได้คำตอบที่ดีที่สุดดังเช่นวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) แต่อย่างไรก็ตาม ในแวดวงวิชาการวิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ได้คุณภาพของคำตอบเป็นที่ยอมรับได้ภายในระยะเวลาอันสั้นกว่าวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดมาก วิธีการต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใดเพียงแต่อยู่ในกลุ่มของวิธีการเมตาฮิวริสติกเหมือนกัน โดยมีที่มา วิธีการ และลำดับวิธีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบวิธีการจะเห็นว่าเหมาะสม



ภาพที่ 5 แผนผังวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาที่มีชุดของคำตอบที่เป็นไปได้แน่นอน

ที่มา: (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554)

จากภาพที่ 5 วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีชุดของคำตอบที่เป็นไปได้แน่นอนนั้นแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ วิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) เช่น Branch and Bound (B & B, Column Generation (CG), Branch and Price (B & P), Vogel และ Hungarian Method (Hun) ซึ่งวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้มีทั้งแบบที่สามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาใด ๆ ก็ได้ที่เป็นปัญหาที่มีชุดของคำตอบที่เป็นไปได้แน่นอนเช่น Branch and Bound, Column Generation และ Branch and Price สามารถใช้แก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP), การจัดลำดับและตารางการผลิต และปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมก็ได้ แต่สำหรับวิธีการ Vogel และ Hungarian Method นั้นสามารถแก้ปัญหาได้เฉพาะบางปัญหาเท่านั้นเช่น Vogel แก้ปัญหาที่เป็นปัญหาการขนส่ง และ Hungarian Method สามารถใช้แก้ปัญหาการมอบหมายงานได้เท่านั้น

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่ม Problem Based Heuristics หรือกลุ่มของวิธีการที่สามารถใช้แก้ปัญหาเฉพาะปัญหาเท่านั้นเช่น Saving Heuristic (Saving), Nearest Neighbor Heuristics (NN) ใช้แก้ปัญหา Traveling Salesman Problem หรือ ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle routing problems: VRP) เท่านั้นวิธีการ Shortest Processing Time (SPT), Earlier Due Date (EDD) ใช้สำหรับแก้ปัญหาการจัดลำดับและตารางการผลิตเท่านั้น หรือวิธีการ Part Period Balancing (PPB) ใช้สำหรับแก้ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมเท่านั้น วิธีการกลุ่ม Problem Based

Heuristics นี้จะไม่สามารถนำหลักการของวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาชนิดหนึ่งไปใช้แก้ปัญหาชนิดอื่นได้ เนื่องจากวิธีการถูกออกแบบมาเฉพาะปัญหา ๆ นั้น และวิธีนี้จะได้คำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดเช่นเดียวกับกลุ่มเมตาฮิวริสติก

ส่วนกลุ่มสุดท้าย คือ กลุ่มเมตาฮิวริสติกซึ่งหมายถึงชุดของลำดับขั้นการแก้ปัญหา (Algorithm) แบบฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่สามารถนำหลักการเดียวกันไปใช้แก้ปัญหาได้หลากหลายปัญหาซึ่งในปัจจุบันวิธีการออกแบบฮิวริสติกโดยอาศัยหลักการทางเมตาฮิวริสติกนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากคำตอบที่ได้จากวิธีการนี้ให้ผลที่ดีแก้ปัญหาได้รวดเร็วและใช้งานได้ง่าย ส่วนมากจะได้คำตอบที่ดีกว่ากลุ่ม Problem Based Heuristics เพราะเป็นวิธีการที่พัฒนาเพิ่มเติมมาจากวิธี Problem Based Heuristics แต่มีความซับซ้อนมากกว่าจึงทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่า และยังสามารถนำหลักการของวิธีการใดวิธีการหนึ่งประยุกต์ใช้กับปัญหาหนึ่งไปประยุกต์ใช้กับปัญหาชนิดอื่นได้ เช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ออกแบบมาสำหรับปัญหา Traveling Salesman Problem เมื่อจะประยุกต์ใช้กับปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมก็ยังคงใช้หลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรมอยู่ แต่อาจจะมีการปรับรายละเอียดเล็กน้อยเพื่อให้สามารถใช้แก้ปัญหาอื่น ๆ ได้ วิธีการในกลุ่มเมตาฮิวริสติกมีหลากหลายวิธี เช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA), วิธีอาณานิคมมด (ACO), วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm optimization), วิธีหาค่าที่เหมาะสมแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm) และอื่นๆ ซึ่งจะมีที่มาและหลักการที่แตกต่างกันแต่จะใช้แก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน แต่คุณภาพของคำตอบก็ดีเพียงพอต่อความต้องการในการวางแผนต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อดีของการใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาแทนวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554)

(Christian & Andrea, 2003) กล่าวว่าหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติกมีดังต่อไปนี้

1. เมตาฮิวริสติกมีหลักการในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region)
2. เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์หลักเพื่อหาค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาให้สั้นที่สุด
3. วิธีการทางเมตาฮิวริสติกอาจจะมึทั้งแบบไม่ซับซ้อนเข้าใจได้ง่าย เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) หรือแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม

(Genetic Algorithm) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (Simulated Annealing) เป็นต้น

4. คำตอบที่ได้จากวิธีเมตาฮิวริสติกเป็นคำตอบที่ได้จากการประมาณ

5. เมตาฮิวริสติกอาจจะเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

6. เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนมาตรฐานที่แน่นอนแม้ว่าเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาที่แตกต่างกันจะมีรายละเอียดของขั้นตอนย่อยที่แตกต่างกันแต่ฮิวริสติกสำหรับปัญหาแต่ละปัญหาต้องดำเนินการตามขั้นตอนหลักของเมตาฮิวริสติกดั้งเดิมการประยุกต์ใช้วิธีระบบมด (Ant System) ในปัญหาที่แตกต่างกันจะมีระเบียบหลัก ๆ ที่เหมือนกันเช่นการมีทัศนคติ (Bias) ก่อนตัดสินใจ หลังจากตัดสินใจต้องใช้คำตอบมาเพิ่มหรือลดปริมาณทัศนคตินั้น แต่วิธีการตัดสินใจจากการใช้ระดับทัศนคติในแต่ละปัญหาอาจจะไม่เหมือนกัน และวิธีการเลือกคำตอบมาเพิ่มหรือลดระดับทัศนคติในแต่ละปัญหาอาจจะแตกต่างกัน เป็นต้น

7. เมตาฮิวริสติกต้องสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

8. เมตาฮิวริสติกอาจจะมีลักษณะเป็นคำบรรยายโดยย่อก็ได้หรือไม่จำเป็นต้องมีหลักการทางคณิตศาสตร์

9. ปัจจุบันนี้เมตาฮิวริสติกใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้นในการจำคำตอบเดิมเพื่อค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำเดิมหรือแตกต่างไปจากเดิม เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีระบบมด

ในปัจจุบัน วิธีการทางด้านเมตาฮิวริสติกมีอยู่หลากหลาย ให้เลือกใช้ตามความชอบและถนัด แต่ละวิธีการจะมีจุดดีและจุดด้อยที่แตกต่างกัน บางวิธีการให้ผลดีแต่ใช้เวลาในการคำนวณนานรวดเร็วแต่ให้ผลที่แย่กว่าวิธีอื่น ๆ วิธีการเมตาฮิวริสติกจึงถูกแบ่งไว้ 5 แบบ

1. แบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติหรือแบบไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจาก ได้เสนอวิธีการแบ่งไว้ดังนี้ วิธีที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (Simulated Annealing) ส่วนวิธีการที่ไม่ได้เลียนแบบธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (Variable Neighborhood Search) เป็นต้น



2. แบบใช้ประชากรหรือแบบไม่ใช้ประชากร (Population or Non Population Rose Heuristic) แบบใช้ประชากรคือในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก ส่วนแบบไม่มีประชากร ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว วิธีแบบใช้ประชากร เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีแบบไม่ใช้ประชากร เช่น วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข บางครั้งเราเรียกกรณีที่ไม่ใช้ประชากรว่า วิธีการแบบทราเจกทอรี (Trajectory Method)

3. แบบสมการเป้าหมายคงที่หรือไม่คงที่ (Dynamic or Static Objective Function) ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจจะมีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ ๆ เกิดขึ้นหรือไม่ มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย ในกรณีที่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบ มีการชี้นำ (Guided Local Search) กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิง พันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบ เฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข

4. แบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบปัจจุบัน (Neighborhood) คงที่และไม่คงที่ กรณีที่วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ ได้แก่ วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ ส่วนกรณีที่มีการ เปลี่ยนวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียง ได้แก่ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข

5. แบบมีและไม่มีหน่วยความจำ ถ้ามีการใช้หน่วยความจำ จะจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้วเพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบถัดไป ซึ่งกรณีที่ใช้หน่วยความจำที่ปรากฏชัด ได้แก่ วิธีระบบมด วิธีการค้นหาต้องห้าม ส่วนวิธีที่ไม่ใช้หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ

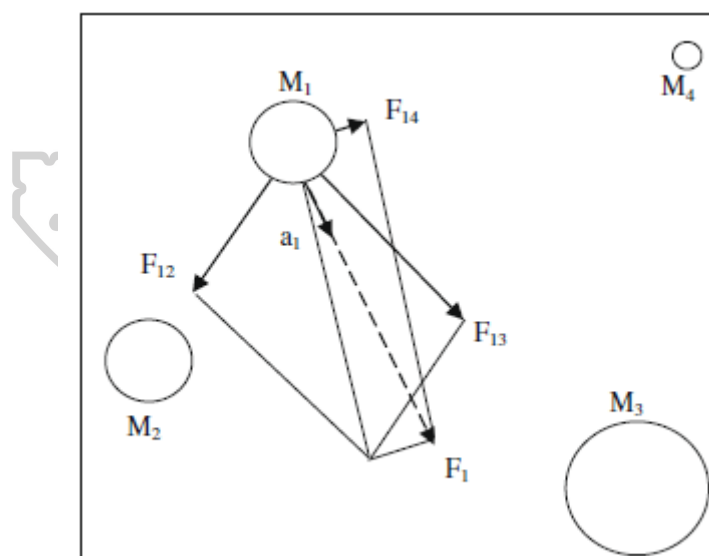
## 2.5 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm)

ความโน้มถ่วง (gravity) หรือ แรงโน้มถ่วง (gravitational force) ในทางฟิสิกส์ คือแรงที่กระทำระหว่างมวล แรงโน้มถ่วงเป็นหนึ่งในสี่แรงหลัก ซึ่งประกอบด้วย แรงโน้มถ่วง แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน แรงแม่เหล็กไฟฟ้า และ แรงนิวเคลียร์แบบเข้ม

นอกเหนือจากความโน้มถ่วงที่เกิดระหว่างมวลแล้ว ความโน้มถ่วงยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่เราเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เช่น การเพิ่มหรือลดความเร็วของวัตถุ การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เป็นต้น (Rashedi, Nezamabadi-pour, & Saryazdi, 2009)

### 2.5.1 กฎแรงโน้มถ่วง (The law of gravity)

กฎแรงโน้มถ่วงสากลของนิวตัน (Newton's law of universal gravitation) ระบุว่า แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นแรงซึ่งโลกกระทำต่อวัตถุทุกชิ้น โดยมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางโลก เป็นแรงที่ยึดเหนี่ยววัตถุให้ติดอยู่กับพื้นโลก มิฉะนั้นวัตถุหรือแม้กระทั่งบรรยากาศจะหลุดปลิวไปในอวกาศ นิวตันได้ค้นพบธรรมชาติพื้นฐานของแรงดึงดูดโน้มถ่วงระหว่างวัตถุใดๆ สองวัตถุ นิวตันตีพิมพ์กฎความโน้มถ่วงพร้อมกับกฎการเคลื่อนที่ 3 ข้อของเขา ในปี ค.ศ. 1687 เราอาจแถลงกฎนี้ได้ดังนี้ “ทุกอนุภาคสสารนี้เอากฎดึงดูดทุกอนุภาคอื่นด้วยแรงซึ่งแปรผันตรงกับผลคูณของมวลของอนุภาคและแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคทั้งสองนั้น” (แรนคิน, Rankin, & อภิวัฒน์, 2011)



ภาพที่ 6 แสดงภาพแรงดึงดูดระหว่างมวลแต่ละมวล

ที่มา: (Rashedi et al., 2009)

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad (2.10)$$

โดยที่

$F$  คือ แรงดึงดูดระหว่างมวล,

$G$  คือ ค่าคงที่โน้มถ่วงสากล,

$m_1$  คือ มวลก้อนแรก,

$m_2$  คือ มวลก้อนที่สอง, และ

$r$  คือ ระยะห่างระหว่างมวล

## 2.5.2 วิธีหาค่าที่เหมาะสมแบบโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm)

วิธีแบบโน้มถ่วงเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วง มีพื้นฐานมาจากกฎความโน้มถ่วงของนิวตันพิจารณาระบบด้วยตัวแทน  $N$  มวล ซึ่งกำหนดตำแหน่งของตัวแทน  $i^{th}$  โดย

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, \dots, N, \quad (2.11)$$

ที่เวลา  $t$  เราสามารถนิยามแรงระหว่างวัตถุ  $i$  และ  $j$  ดังสมการที่ (2.12)

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)), \quad (2.12)$$

โดยที่

$M_{aj}$  คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน  $j$  ที่เวลา  $t$ ,

$M_{pi}$  คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน  $i$  ที่เวลา  $t$ ,

$G(t)$  คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงที่เวลา  $t$ ,

$\epsilon$  คือ ค่าคงที่ที่เล็ก,

$R_{ij}(t)$  คือ ระยะห่างระหว่างตัวแทน  $i$  และ  $j$  ซึ่งสามารถหาค่า  $R_{ij}(t)$  ได้ตามสมการที่ (2.13)

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2 \quad (2.13)$$

และสมการที่ (2.14) แสดงการหาค่าแรงโน้มถ่วงรวมของตัวแทน  $i$  ที่มีมิติ  $d$  โดย  $\text{rand}_j$  คือค่าที่ได้จากการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 0

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (2.14)$$

จากกฎของการเคลื่อนที่ อัตราเร่งของตัวแทน  $i$  คำนวณได้ดังสมการที่ (2.15) โดยที่  $M_{ii}$  คือ มวลเฉื่อยของตัวแทน  $i$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (2.15)$$

สมการที่ (2.16) เป็นสมการหาค่าความเร็วของตัวแทน  $i$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (2.16)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (2.17)$$

ค่าของ  $x_i^d(t+1)$  จะเท่ากับค่าปัจจุบันบวกกับค่าความเร็วดังสมการที่ (2.17)

การคำนวณค่ามวลสามารถคำนวณได้จาก สมการหาค่า fitness ตัวแทนที่มีค่า fitness ดีจะมีมวลมาก ซึ่งส่งผลให้เคลื่อนที่ช้า ฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับปรุงมวลของตัวแทนมีดังนี้

โดยที่  $M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i, \quad i = 1, 2, \dots, N$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (2.18)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (2.19)$$

โดย

$fit_i(t)$  คือ fitness ของตัวแทน  $i$  ที่เวลา  $t$

$best(t)$  คือ ค่า fitness ที่ดีที่สุดของตัวแทนทุกตัว

$worst(t)$  คือ ค่า fitness ที่แย่ที่สุดที่เวลา  $t$

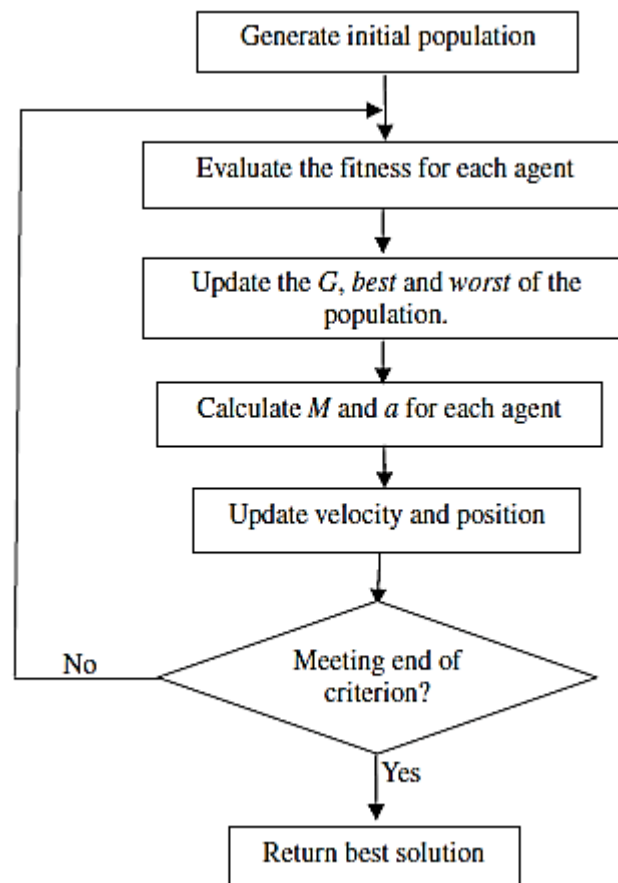
สำหรับปัญหาที่ต้องการค่าคำตอบน้อย (Minimization Problem) จะกำหนดค่า  $best(t)$  และ  $worst(t)$  ดังสมการที่ (2.20) และ (2.21)

$$best(t) = \min fit_j(t), \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.20)$$

$$worst(t) = \max fit_j(t), \quad j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.21)$$

### 2.5.3 ขั้นตอนการทำงานทั่วไปของ GSA (General principle of GSA)

ขั้นตอนการทำงานทั่วไปของ GSA จะแสดงดังภาพที่ 6 โดยเริ่มจากกำหนดประชากรเริ่มต้น และประเมินผลค่า fitness ของแต่ละตัวแทน หลังจากนั้นทำการปรับปรุง ค่า  $G$  ที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดของประชากร แล้วคำนวณค่า  $M$  และ  $a$  ของแต่ละตัวแทนพร้อมกับปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งของตัวแทน จะทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะจบกระบวนการหรือถูกสั่งให้จบกระบวนการ และจะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานทั่วไปของ GSA

ที่มา: (Rashedi et al., 2009)

ซึ่งทั้งหมดนี้จะแสดงเป็นรหัสเทียม (Pseudo Code) เข้าโปรแกรม ได้ดังต่อไปนี้

```

Generate the initial population;
Evaluate the fitness for each agent;
Calculate the gravitational mass for each agent;
While stopping criteria is not satisfied Do
Update G, K, and Kbest;
Calculate the acceleration of each agent by Eq. (2.15);
Calculate the velocity of each agent by Eq. (2.16);
Update the position of each agent by Eq. (2.17);
Evaluate the fitness for each agent;
Calculate the gravitational mass for each agent;
Endwhile
Output: Best solution found.
  
```

ภาพที่ 8 รหัสเทียม (Pseudo Code) ของ GSA

## 2.6 วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

### 2.6.1 นิยามของการออกแบบการทดลอง

DOE หรือการออกแบบการทดลอง การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดีจะ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นตัวแปรในกระบวนการ (Process variable) หรือตัวแปรของ ผลิตภัณฑ์ (Product variable) หรือองค์ประกอบของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพ และประสิทธิภาพในการผลิต เนื่องด้วยทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด(เวลา ต้นทุนการทดลอง บุคลากร วัสดุที่ใช้ในการทดลอง และอื่นๆ) ดังนั้นการทดลองแต่ละครั้งจะต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุด ซึ่ง การทดลองที่มีการวางแผนที่ดีจะทำให้ได้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้มีการวางแผนมาก่อน การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาโดยมากจะมี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผน การคัดเลือก การหาค่าที่ดีที่สุด และการทวนสอบ

1. การวางแผน (Planning) การวางแผนที่ดีจะช่วยทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทำการทดลองน้อยลง ตัวอย่างเช่น บุคลากร อุปกรณ์ที่ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิตซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบสมบูรณ์ ทั้งนี้การวางแผนการทดลองยังรวมไปถึง การกำหนดปัญหา (Define Problem) การกำหนดวัตถุประสงค์ (Set Objective) การสร้างแผนการทดลอง (Experiment Design) การกำหนดกระบวนการทดลองและระบบการวัดและการเก็บข้อมูล (Experiment's method and data collection) ด้วย

2. การคัดเลือก (Screening) ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง ดังนั้นการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการเท่านั้น การคัดเลือกตัวแปรที่สำคัญ (Vital Few) ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งเพราะจะช่วยให้การทดลองมีเป้าหมายที่ตรงชัดเจนไม่ซับซ้อนประหยัดทรัพยากรที่ใช้ในการทดลอง การคัดเลือกสามารถใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุได้หลายประเภทเช่น Cause and Effect Analysis หรือ Failure Mode Effective Analysis เป็นต้น

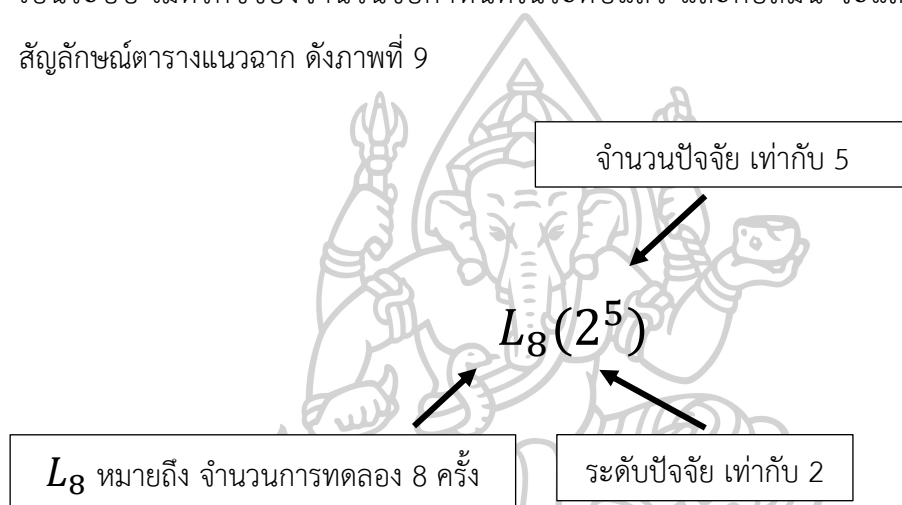
3. การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย (Vital-Few) และได้ผลการทดลองแล้วเราต้องเลือกหรือหาค่าปัจจัยของตัวแปรที่ดีที่สุดเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ที่เราตั้งไว้ให้มากที่สุด มีหลายคนเบี่ยงเบนวัตถุประสงค์ของตัวเองทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหาและสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

4. การทวนสอบ (Verification) การทวนสอบเป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อดูว่าผลที่ได้มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้น ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีจริงๆ หรือไม่ ถ้าไม่สามารถทวนซ้ำได้อาจต้องพิจารณาหาสาเหตุของขั้นตอนการทดลอง การเก็บข้อมูล หรือย้อนกลับไปพิจารณาในขั้นตอนวางแผน การคัดเลือก การหาค่าที่ดีที่สุดใหม่ เป็นต้น

## 2.6.2 การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทากูชิ

วิธีการทากูชิเป็นเทคนิคสำหรับการออกแบบและทำการทดลองตลอดจนเป็นกระบวนการเพื่อค้นหาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่ได้จากปัจจัยในการนำมาทำการศึกษาดทดลอง (ตัวแปรนำเข้า) วิธีการทากูชิ คือสิ่งที่ต้องการการออกแบบซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายโดยได้ทำการเลือกสมรรถนะที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่ได้ วิธีการทากูชิมีขั้นตอนในการปฏิบัติที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา ก่อนจะทำการทดลองเราจะต้องเข้าใจรูปแบบของปัญหาอย่างชัดเจน และทราบว่ามีปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในอะไรบ้างที่อาจจะส่งผลต่อปัญหา และทำการกำหนดขอบเขตของปัญหาให้ชัดเจน เพื่อให้ได้ผลการทดลองตรงตามวัตถุประสงค์
2. วางแผนการทดลอง กำหนดปัจจัยควบคุม (Factor) ทั้งหมดที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหา และกำหนดระดับของปัญหา (Level) ตามข้อจำกัดของทรัพยากรและเวลาที่มี เพื่อนำไปใช้ในการสร้างตารางแนวฉาก โดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีการทากูชิ คือ ตารางแนวฉาก (Orthogonal array, OA) เป็นระบบ เมตริกซ์ของจำนวนข้อกำหนดในระดับแถว และคอลัมน์ จะแสดงความหมายของสัญลักษณ์ตารางแนวฉาก ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงความหมายของสัญลักษณ์ตารางแนวฉาก

ตารางที่ 6 ตารางมาตรฐานของวิธีการทากูชิ

จำนวน ปัจจัย	ระดับของปัจจัย				จำนวน ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			
	2	3	4	5		2	3	4	5
2	L4	L9	L16	L25	17	L32	L36	-	-
3	L25	L9	L16	L25	18	L32	L36	-	-
4	L8	L9	L16	L25	19	L32	L36	-	-
5	L8	L18	L16	L25	20	L32	L36	-	-
6	L8	L18	L32	L25	21	L32	L36	-	-
7	L8	L18	L32	L50	22	L32	L36	-	-



ตารางที่ 6 ตารางมาตรฐานของวิธีการทากูชิ (ต่อ)

จำนวน ปัจจัย	ระดับของปัจจัย				จำนวน ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			
	2	3	4	5		2	3	4	5
8	L12	L18	L32	L50	23	L32	L36	-	-
9	L12	L27	L32	L50	24	L32	-	-	-
10	L12	L27	L32	L50	25	L32	-	-	-
11	L12	L27	L32	L50	26	L32	-	-	-
12	L16	L27	L32	L50	27	L32	-	-	-
13	L16	L27	-	-	28	L32	-	-	-
14	L16	L36	-	-	29	L32	-	-	-
15	L16	L36	-	-	30	L32	-	-	-
16	L32	L36	-	-	31	L32	-	-	-

ที่มา: คมพันธ์ และ สุกัญญา (2560), การศึกษาประสิทธิภาพทางการดำเนินงานที่มีผลต่อความหยাবผิว  
โดยวิธีทากูชิ

จากตารางที่ 6 มาตรฐานของวิธีการทากูชิ จากตารางแนวฉาก  $L_8(2^5)$  สามารถลดจำนวน  
ครั้งของการทดลองจากทั้งหมด 32 ครั้ง เหลือเพียง 8 ครั้ง จะแสดงวิธีปรับค่าของแต่ละปัจจัยดัง  
ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงวิธีปรับตั้งค่าปัจจัยในแต่ละครั้งของการทดลอง

การทดลองที่	จำนวนปัจจัย 5, ระดับปัจจัย 2				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	2	2	1	1
4	1	2	2	2	2
5	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1
7	2	2	1	1	2
8	2	2	1	2	1

3. วิเคราะห์ผลลัพธ์ โดยใช้หลักการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูว่าผลลัพธ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่
4. ทดลองเพื่อยืนยันผลกำหนด ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งเพื่อยืนยันว่าผลสรุปที่ได้นั้นถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพียงพอแล้ว

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related research)

(Rashedi et al., 2009) ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการปรับให้เหมาะสมแบบใหม่ซึ่งยึดตามกฎแรงโน้มถ่วงและการปฏิสัมพันธ์ของมวล ในการนำเสนอขั้นตอนวิธีการ ตัวแทนที่ทำหน้าที่ค้นหาคำตอบ คือ ชุดของมวลที่มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันบนพื้นฐานของแรงโน้มถ่วงของนิวตันและกฎการเคลื่อนที่ วิธีที่เสนอนั้นได้รับการเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาแบบฮิวริสติกที่รู้จักกันดี และขั้นตอนวิธีการดังกล่าวเป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา Non-Linear หรือเป็นฟังก์ชันของปัญหาที่ซับซ้อน

(Wagner, 1999) เสนอบทความที่กล่าวถึงปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติซึ่งมีการตัดไม้เป็นชุด โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการแก้ปัญหา วัตถุประสงค์เพื่อลดการสูญเสียเศษเหลือ และลดจำนวนชุดการตัด และผลสรุปของบทความพบว่าขั้นตอน GA ที่นำเสนอในบทความนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างวิธีแก้ไขปัญหาที่ดีมากสำหรับปัญหานี้ด้วย

(สุริรัตน์ กิ่งไทร, 2560) ได้นำเสนอบทความเรื่อง การแก้ปัญหาจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด โดยปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง (Hybrid IPSO-GSA) โดยพิจารณาถึงฟังก์ชัน ราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบราบเรียบ และคำนึงถึงขีดจำกัดในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมด้วย ซึ่งบทความวิจัยนี้จะใช้ระบบ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส เป็นระบบทดสอบ จากนั้นจำลองการทำงานและวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจากผลการทดสอบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) และแบบโน้มถ่วง (GSA) สรุปได้ว่า การปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง โดยปรับปรุงฟังก์ชันตัวแปรตัวประกอบน้ำหนักความเฉื่อย สามารถช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นจากเดิมอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นที่น่าสนใจ

(จตุพร ใจดำรงค์, 2555) ได้นำเสนอการเปรียบเทียบรูปแบบเริ่มต้นของวิธีฮิวริสติกแบบไปข้างหน้า (Forward Heuristics) จำนวนสี่รูปแบบ คือ แบบยาวไปหาสั้น แบบสั้นไปหายาว แบบสลับกลุ่ม และแบบสุ่ม การหาค่าเป้าหมายของวิธีฮิวริสติกแบบไปข้างหน้าหาโดยการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี และผลการหาค่าที่ดีที่สุดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมลินโก สถิติจะถูกใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเป้าหมายและเวลาที่ใช้ในการหาค่าเป้าหมาย ผลการวิจัยโดยจำลองปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานขนาดมาตรฐานพบว่าวิธีการจัดเรียงชิ้นงานไม่มีความแตกต่างกันของค่าเป้าหมายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แต่จะแตกต่างกันในเวลาของการหาค่าเป้าหมายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับเวลาในการหาค่าเป้าหมายของรูปแบบเริ่มต้นทั้งสี่ พบว่ามีความแตกต่างกับวิธีค่าที่ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยทั้งสี่รูปแบบจะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีที่ดีที่สุด โดยรูปแบบสลับกลุ่มและแบบสุ่มจะใช้เวลาน้อยที่สุด

(ปรีชา เกรียงกรกฎ, 2553) ได้เสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดการปัญหาการตัดแบ่งวัสดุแบบหนึ่งมิติด้วยวิธีฮิวริสติก งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่มีชื่อว่า Cutter 1.0 ซึ่งประกอบด้วย วิธีความยาวมากที่สุด ความยาวน้อยที่สุด วิธีสุ่ม และวิธีสุ่มแบบ Greedy ผลที่ได้จากโปรแกรมจะแสดงถึงจำนวนวัตถุดิบที่ต้องใช้ทั้งหมด ประสิทธิภาพการตัด จำนวนเศษ รวมทั้งสามารถเปลี่ยนระยะความยาวของวัตถุดิบที่จะตัดได้ จะเห็นว่าโปรแกรม Cutter 1.0 ทำให้การวางแผนการตัดเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพกว่าวิธีการตัดแบบเดิมที่ไม่มีการวางแผน

(ศรายุทธ มาลัย, 2553) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการวางแผนการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเสนอการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มในการวางแผนการตัดเหล็กแผ่น ซึ่งเป็นปัญหาการตัดวัสดุสองมิติแบบกิโลติน สำหรับการก่อสร้างอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และจากการนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับบัญชีแสดงปริมาณวัสดุผลการวิจัย พบว่า โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มสามารถคำนวณหาวิธีการตัดเหล็กแผ่นที่มีความซับซ้อนหลากหลายขนาดได้ดีกว่าการตัดสินใจตัดเหล็กแผ่นโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้รับเหมา โดยลดปริมาณการใช้เหล็กแผ่นความหนา 10, 16 และ 20 มิลลิเมตร ได้ร้อยละ 0.75 ถึง 3.85 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เหล็กแผ่นที่ใช้งานจริงของผู้รับเหมา



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการนำขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มน้าวมาพัฒนาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมออกแบบการตัด เมื่อโปรแกรมมีความถูกต้องสมบูรณ์แล้ว จึงจะจัดตั้งปัญหาเพื่อทำการทดสอบโดยเลือกปัญหาจริงจากบริษัทกรณีศึกษาเพื่อวัดประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัด เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีการออกแบบการตัดจากการทำงานจริงของพนักงานผู้ชำนาญงานและเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ที่ได้จากวิธีการเชิงเส้น (Linear Programming) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- 3.1 ศึกษาวิธีการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม โดยใช้ความชำนาญของพนักงาน
- 3.2 พัฒนาโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม
- 3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม
- 3.4 การวัดประสิทธิภาพคำตอบที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม



ภาพที่ 10 ตัวอย่างม้วนฟิล์มสำหรับห่ออาหาร

### 3.1 ศึกษาวิธีการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม โดยใช้ความชำนาญของพนักงาน

จากการศึกษาดูงานในบริษัทกรณีศึกษา พบว่ากระบวนการออกแบบการตัดม้วนฟิล์มของแผนกแล้ตัด (Slitting Process) มีขั้นตอนการออกแบบการตัดม้วนฟิล์มดังนี้

3.1.1 เริ่มจากได้รับคำสั่งซื้อซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดหน้าตัดของม้วน และจำนวนของม้วนที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

ขนาดที่ต้องการตัด (มิลลิเมตร)	จำนวน(ม้วน)
100	30
200	30
250	30
300	50
350	50

3.1.2 พนักงานจะคำนวณ โดยกำหนดม้วนฟิล์มตั้งต้นขนาดมาตรฐานความยาว 2,150 มิลลิเมตร โดยเรียงจากขนาดความยาวหน้าตัดที่มากที่สุดไปหาขนาดความยาวที่น้อยที่สุด คือ 350, 300, 250, 200 และ 100 มิลลิเมตร ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเริ่มตัดม้วนฟิล์มที่ขนาดความยาว 350 มิลลิเมตร จนครบจำนวนคือ 30 ม้วนแล้วจึงเริ่มตัดที่ความยาว 300 มิลลิเมตรต่อจนครบจำนวนไปเรื่อยๆ ตามลำดับที่ได้เรียงไว้

3.1.3 จากนั้นจะทำการสรุปแผนการตัดซึ่งแสดง จำนวนม้วนฟิล์มมาตรฐานทั้งหมดที่ใช้ ร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด และ รูปแบบของการตัดม้วนฟิล์มแต่ละม้วน ดังนี้

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	AA
19	Pcs.No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Scrap
20	Roll1	350	350	350	350	350	350													50
21	Roll2	350	350	350	350	350	350													50
22	Roll3	350	350	350	350	350	350													50
23	Roll4	350	350	350	350	350	350													50
24	Roll5	350	350	350	350	350	350													50
25	Roll6	350	350	350	350	350	350													50
26	Roll7	350	350	350	350	350	350													50
27	Roll8	350	350	350	350	350	350													50
28	Roll9	350	350	300	300	300	300													250
29	Roll10	300	300	300	300	300	300	300												50
30	Roll11	300	300	300	300	300	300	300												50
31	Roll12	300	300	300	300	300	300	300												50
32	Roll13	300	300	300	300	300	300	300												50
33	Roll14	300	300	300	300	300	300	300												50
34	Roll15	300	300	300	300	300	300	300												50
35	Roll16	300	300	300	300	250	250	250												200
36	Roll17	250	250	250	250	250	250	250	250											150
37	Roll18	250	250	250	250	250	250	250	250											150
38	Roll19	250	250	250	250	250	250	250	250											150
39	Roll20	250	250	250	200	200	200	200	200	200										0
40	Roll21	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200									150
41	Roll22	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200									150
42	Roll23	200	200	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50
43	Roll24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	650
44																				2600
45																				%waste 5.04
46																				%utilization 94.96

ภาพที่ 11 แสดงรูปแบบการตัดที่ได้จากการออกแบบของพนักงานผู้ชำนาญงาน

ผลการจากออกแบบการตัดสรุปได้ว่า ต้องใช้ม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมด 24 ม้วน และเศษที่เหลือจากการตัดเท่ากับ 2,600 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.04 ของเศษเหลือ และจากการทดลองจับเวลาการทำงานของพนักงานตั้งแต่เริ่มกรอกข้อมูลจนถึงได้แผนการตัดพบว่า ใช้เวลามากกว่า 28 นาทีขึ้นไป ในการออกแบบการตัดแต่ละคำสั่งซื้อ และถ้าหากคำสั่งซื้อที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นก็จะยิ่งใช้ระยะเวลาในการออกแบบการตัดมากขึ้นตามไปด้วย และวิธีการออกแบบการตัดที่พนักงานผู้ชำนาญงานใช้ในปัจจุบันนั้น ยังไม่สามารถการันตีได้ว่า เป็นแผนการตัดที่เหมาะสมที่สุด

### 3.2 พัฒนาโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

เนื่องจากการออกแบบการตัดที่ใช้ในปัจจุบัน ต้องใช้ทักษะความชำนาญในการออกแบบวางแผนและต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติที่มีวัสดุตั้งต้นขนาดความยาวเดียว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำขั้นตอนวิธีการในการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง มาพัฒนาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติดังต่อไปนี้

### 3.2.1 ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ

แบบจำลองการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติที่ผู้วิจัยนำมาพัฒนาร่วมกับขั้นตอนวิธีการในการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มน้าว เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย (Gilmore & Gomory, 1961) โดยแสดงรูปแบบสมการโปรแกรมเชิงเส้นตรง ได้ดังนี้

กำหนดให้ตัวแปร:

$i$  คือ รูปแบบการตัด

$j$  คือ ความยาวที่ต้องการตัด

ตัวแปรตัดสินใจ:

$x_i$  คือ จำนวนม้วนฟิล์มที่ตัดตามรูปแบบ  $i$

พารามิเตอร์:

$a_{ij}$  คือ จำนวนชิ้นงานมีความยาว  $j$  โดยตัดตามรูปแบบ  $i$  (ในแต่ละม้วนใหญ่)

$b_j$  คือ จำนวนชิ้นงานที่ต้องการในแต่ละความยาว  $j$

สมการเป้าหมาย:

$$\min \sum_{i \in I} x_i \quad (3.1)$$

สมการข้อจำกัด:

$$\sum_{i \in I} a_{ij} x_i \geq b_j, \forall j \in J \quad (3.2)$$

$$x_i \geq 0, \text{ integer} \quad (3.3)$$



เป้าหมายของแบบจำลองคือ การลดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (3.1) ซึ่งประกอบด้วย จำนวนม้วนฟิล์มม้วนใหญ่ทั้งหมดที่ใช้ สมการข้อจำกัดที่ (3.2) กำหนดไว้เพื่อให้แน่ใจว่าจำนวนของ ชิ้นงานเพียงพอสำหรับการตัดจากฟิล์มม้วนใหญ่ในปริมาณที่ต้องการ และสมการข้อจำกัดที่ (3.3) กำหนดไว้เพื่อให้ตัวแปรตัดสินใจเป็นค่าไม่ติดลบ

### 3.2.2 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วง

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มถ่วงถูกคิดค้นโดย (Rashedi et al., 2009) เป็นหนึ่งในขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่ถูกนำมาใช้ในหลากหลายปัญหา Optimization วิธี GSA ถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีเมตาฮีโรอิดิกอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับกันดี เช่น Particle swarm optimization (PSO) และผลลัพธ์ก็ได้ยืนยันว่าวิธี GSA นี้เป็นอีกหนึ่งวิธีเมตาฮีโรอิดิกที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ วิธีแบบโน้มถ่วงเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วง มีพื้นฐานมาจากกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตันพิจารณาระบบด้วยตัวแทน  $N$  มวล ซึ่งกำหนดตำแหน่งของตัวแทน  $i^{th}$  โดยที่

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n), i = 1, 2, \dots, N \quad (3.4)$$

ที่เวลา  $t$  เราสามารถนิยามแรงระหว่างวัตถุ  $i$  และ  $j$  ดังสมการที่ (3.5)

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (3.5)$$

โดยที่

$M_{aj}$  คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน  $j$  ที่เวลา  $t$ ,

$M_{pi}$  คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน  $i$  ที่เวลา  $t$ ,

$G(t)$  คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงที่เวลา  $t$ ,

$\epsilon$  คือ ค่าคงที่เล็กๆ,

$R_{ij}(t)$  คือ ระยะห่างระหว่างตัวแทน  $i$  และ  $j$  ซึ่งสามารถหาค่า  $R_{ij}(t)$  ได้ตามสมการที่ (3.6)

$$R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2 \quad (3.6)$$

เพื่อรักษาอัตราการลู่เข้าของ GSA ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง  $G$  เริ่มต้นที่จุดเริ่มต้นโดยค่า  $G_0$  และจะลดลงตามเวลา  $t$  ดังสมการที่ (3.7)

$$G(t) = G_0 \exp\left(-\alpha_G \frac{t}{t_{max}}\right) \quad (3.7)$$

และสมการที่ (3.8) แสดงการหาค่าแรงโน้มถ่วงรวมของตัวแทน  $i$  ที่มีมิติ  $d$  โดย  $rand_j$  คือค่าที่ได้จากการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 0

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (3.8)$$

จากกฎของการเคลื่อนที่ อัตราเร่งของตัวแทน  $i$  คำนวณได้ดังสมการที่ (3.9) โดยที่  $M_{ii}$  คือ มวลเฉื่อยของตัวแทน  $i$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (3.9)$$

สมการที่ (3.10) เป็นสมการหาค่าความเร็วของตัวแทน  $i$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (3.10)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (3.11)$$

ค่าของ  $x_i^d(t+1)$  จะเท่ากับค่าปัจจุบันบวกกับค่าความเร็วดังสมการที่ (3.11)

การคำนวณค่ามวลสามารถคำนวณได้จาก สมการหาค่า fitness ตัวแทนที่มีค่า fitness ดีจะมีมวลมาก ซึ่งส่งผลให้เคลื่อนที่ช้า ฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับปรุงมวลของตัวแทนมีดังนี้

โดยที่  $M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i, i = 1, 2, \dots, N$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (3.12)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (3.13)$$

โดยที่

$fit_i(t)$  คือ fitness ของตัวแทน  $i$  ที่เวลา  $t$ ,

$best(t)$  คือ ค่า fitness ที่ดีที่สุดของตัวแทนทุกตัว,

$worst(t)$  คือ ค่า fitness ที่แย่ที่สุดที่เวลา  $t$

### 3.2.3 โปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

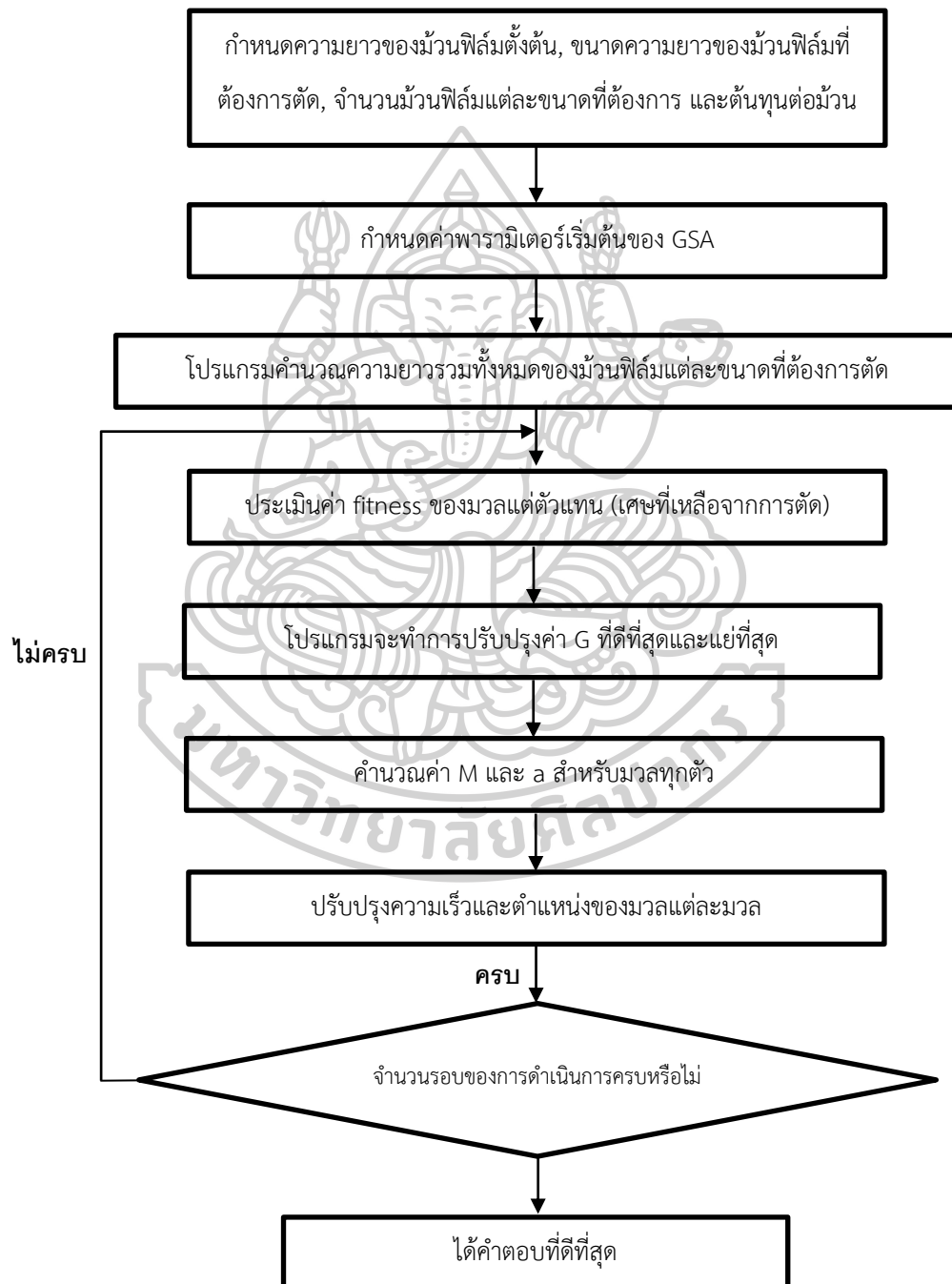
ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม ผู้วิจัยได้กำหนดความยาวของม้วนฟิล์มตั้งต้นเท่ากับ 2,150 มิลลิเมตร ซึ่งอ้างอิงจากบริษัทกรณีศึกษา และขนาดม้วนฟิล์มที่ต้องการตัดจะต้องไม่เกินความยาวของม้วนฟิล์มตั้งต้น



ภาพที่ 12 ม้วนฟิล์มตั้งต้นขนาดมาตรฐานที่มีจำนวนมากพอ

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นจากกำหนดข้อมูลเริ่มต้น ได้แก่ กำหนดความยาวของม้วนฟิล์มตั้งต้น, กำหนดขนาดความยาวของม้วนฟิล์มที่ต้องการตัด, กำหนดจำนวนม้วนฟิล์มแต่ละขนาดที่ต้องการ และกำหนดต้นทุนต่อม้วน จากนั้นกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นในส่วนของ GSA โปรแกรมจะประเมินผลค่า fitness ของแต่ละตัวแทนโดยค่า fitness ที่กำหนดในงานวิจัยนี้คือ

จำนวนเศษเหลือน้อยที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับปรุง ค่า  $G$  ที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดของประชากร แล้วคำนวณค่า  $M$  และ  $a$  ของแต่ละตัวแทนพร้อมกับปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งของแต่ละตัวแทน จะทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะจบกระบวนการหรือถูกสั่งให้จบกระบวนการ และจะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มจะแสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

### 3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของโปรแกรมออกแบบการตัดมันฝรั่ง

การปรับค่าพารามิเตอร์ มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการ และการตรวจสอบพารามิเตอร์โดยละเอียดทุกค่าความเป็นไปได้ นั้น ใช้เวลานาน เพื่อลดความซับซ้อนและทำให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้อย่างง่ายๆ ที่จะทำให้ค่าคำตอบออกมาได้ดี จึงได้นำวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับค่าพารามิเตอร์อย่างเป็นระบบ ซึ่งการทดลองที่มีการวางแผนที่ดีจะทำให้ได้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้รับการวางแผนมาก่อน ผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการทาคุชิ (Taguchi Orthogonal Arrays) ซึ่งเป็นเทคนิคการออกแบบการทดลองที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เครื่องมือที่ใช้คือ Orthogonal Arrays เป็นระบบเมตริกซ์ โดยมีอัตราส่วนแบบ Signal – to – noise (S/N) (สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน, นฤเบศร์ นางเมาะ, & พงศ์สุวรรณ จันทาธิ, 2559) ขั้นตอนการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: ในขั้นตอนแรกพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนวิธีการ หลังจากนั้นระดับของแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดด้วยระดับเป็นค่าที่เป็นไปได้ ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเลือกพารามิเตอร์และระดับของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ระดับของพารามิเตอร์			
	ระดับที่1	ระดับที่2	ระดับที่3	ระดับที่4
Population Size ( $N$ )	20	35	50	60
Alpha in eq.7 ( $\alpha$ )	10	20	30	50
ค่าเริ่มต้น ( $G_0$ )	10	50	100	150

ขั้นตอนที่ 2: ออกแบบตารางแนวฉาก Orthogonal Arrays มีตัวเลือกสำหรับการสร้าง Orthogonal Arrays ของ ทาคุชิ (Cimbala M. John, 2014) สำหรับการออกแบบการทดลอง ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่คุณเลือกทดสอบแต่ละระดับของแต่ละพารามิเตอร์ ตามตัวเลือกอาร์เรย์ที่เสนอโดย Taguchi L'16 ตารางที่ 10 จะแสดงการทดสอบที่ออกแบบใน L'16 ซึ่งมีชุดค่าผสม 16 คู่ โดยทั่วไปเพื่อให้ได้คำตอบที่เชื่อถือได้ของ GSA และอัลกอริธึมวิวัฒนาการอื่น ๆ จำเป็นต้องมีการรันหลายครั้งและจะแสดงค่าเฉลี่ย โปรดคำนึงถึงว่าหากแต่ละการทดสอบต้องการดำเนินการ 20 ครั้ง

การทดสอบทั้งหมดจะเท่ากับ  $43 * 20 = 1,280$  ครั้ง ในขณะที่วิธีของทากูชิสามารถลดการทดสอบเหล่านี้จะเหลือเพียง  $16 * 20 = 320$  ครั้ง

ตารางที่ 10 การทดสอบที่ออกแบบโดยใช้ Taguchi Orthogonal Array L'16

การทดสอบที่	$N$	$\alpha$	$G_0$	การทดสอบที่	$N$	$\alpha$	$G_0$
1	1	1	1	9	3	1	3
2	1	2	2	10	3	2	4
3	1	3	3	11	3	3	1
4	1	4	4	12	3	4	2
5	2	1	2	13	4	1	4
6	2	2	1	14	4	2	3
7	2	3	4	15	4	3	2
8	2	4	3	16	4	4	1

ขั้นตอนที่ 3: สำหรับปัญหาที่เลือกแต่ละข้อในการทดสอบ 16 ครั้งควรดำเนินการตามเงื่อนไขของการทดลองแต่ละครั้งอธิบายไว้ใน Orthogonal Arrays ที่เลือกไว้ดังตารางที่ 10 ตัวอย่างเช่นแถวแรกของ L'16 แสดงค่าของปัจจัยทั้งหมดที่ต้องตั้งค่าเป็นอันดับแรก ดังนั้นในการทดสอบครั้งแรกพารามิเตอร์ของ GSA จึงตั้งค่าดังนี้:  $N = 20$ ,  $\alpha = 10$  และ  $G_0 = 10$  โดยจำนวนรอบในการดำเนินการ (Max number of iteration) แต่ละการทดสอบคือ 1,000 รอบ

ขั้นตอนที่ 4: เริ่มทำการทดสอบ โดยตัวอย่างของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติที่นำมาใช้ทดสอบเป็น 1 ในปัญหาที่ยากจากงานวิจัยของ (Belov & Scheithauer, 2003) ในปัญหาประกอบด้วย วัสดุตั้งต้นขนาดความยาว 1,000 มิลลิเมตรจำนวนไม่จำกัด, ขนาดหน้าตัดที่ต้องการตัดและจำนวนของชิ้นงานทั้งหมด 136 ขนาด รายละเอียดของปัญหาสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก

หลังจากการทดสอบโดยวิธีการทากูชิทั้งหมด 320 ครั้ง จากทั้งหมด 16 ชุดพารามิเตอร์ จะนำมาสรุปผลเป็นค่าเฉลี่ยได้ ดังตารางที่ 11 จะแสดงค่าคำตอบโดยเฉลี่ยของทั้ง 16 การทดสอบจากวิธีการทากูชิ

ตารางที่ 11 แสดงค่าคำตอบโดยเฉลี่ยของทั้ง 16 การทดสอบจากวิธีการทากูชิ

การทดสอบที่	จำนวนท่อนเฉลี่ย	%เศษเหลือเฉลี่ย	%Utilization	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	76	19.07	80.80	15.44
2	76	19.53	80.44	15.26
3	79	21.83	77.97	15.48
4	79	22.46	77.47	15.41
5	75	18.32	81.62	25.47
6	76	19.59	80.37	24.92
7	77	20.83	79.19	25.48
8	76	19.20	80.72	25.09
9	75	18.59	81.41	34.68
10	79	22.02	77.81	25.17
11	76	19.53	80.43	34.98
12	75	18.19	81.74	34.44
13	77	19.66	80.13	41.38
14	75	18.06	81.83	41.20
15	75	17.59	82.24	42.19
16	77	20.25	79.64	43.63

จากผลการทดสอบการปรับค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 16 ชุดการทดสอบและแต่ละชุดการทดสอบมีการทำซ้ำ 20 ครั้ง จะได้ค่าคำตอบโดยเฉลี่ยของทั้ง 16 การทดสอบดังแสดงดังตารางที่ 11 สรุปได้ว่าค่าคำตอบที่ให้ค่าต่ำที่สุด คือ ใช้จำนวนท่อนเฉลี่ย 75 ท่อน, ร้อยละของปริมาณเศษเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 17.59 ร้อยละการใช้ประโยชน์ เท่ากับ 82.24 เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานเฉลี่ยเท่ากับ 42.19 วินาที อยู่ในการทดสอบที่ 15 มีการปรับค่าพารามิเตอร์ ดังนี้:  $N = 60$ ,  $\alpha = 30$  และ  $G_0 = 50$  และถ้าพิจารณาในเรื่องของเวลา จะเห็นได้ว่าในการทดสอบที่ 5 ใช้จำนวนท่อนเฉลี่ย 75 ท่อนเท่ากับกับทดสอบที่ 15 มี, ร้อยละของปริมาณเศษเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 18.32 ซึ่งต่างจากการทดสอบที่ให้ค่าต่ำที่สุดเพียง 1.34% ร้อยละการใช้ประโยชน์เท่ากับ 81.62 ต่างจากการทดสอบที่ให้ค่าต่ำที่สุดเพียง 0.62% และใช้เวลาในการดำเนินงานเฉลี่ยเพียง 25.47 วินาที ซึ่งน้อยกว่าการทดสอบที่ให้ค่าต่ำที่สุดถึง 16.73 วินาที การทดสอบที่ 5 มีการปรับค่าพารามิเตอร์ ดังนี้:  $N = 35$ ,  $\alpha = 10$  และ  $G_0 = 50$

ทั้งนี้การพิจารณาเลือกชุดของพารามิเตอร์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกนำไปใช้ใน งานนั้นๆ และขั้นตอนวิธีการใช้งานโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ข

### 3.4 การวัดประสิทธิภาพคำตอบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโปรแกรมแล้ว จะทำการวัดประสิทธิภาพของคำตอบ ที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก โปรแกรมออกแบบการตัดกับคำตอบที่มาจากโรงงานการศึกษา และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก โปรแกรมออกแบบการตัดกับคำตอบที่มาจากวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดโดยจะแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค ในส่วนของข้อมูลที่จะนำมาทำการ วิเคราะห์เปรียบเทียบได้แก่

- 1 จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกใช้ในการตัด (Number of rolls)
- 2 ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด (%Waste)
- 3 ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์ (%Utilization)
- 4 ระยะเวลาในการดำเนินการ (Processing time)

และทดลองกับตัวอย่างของปัญหามาจากคำสั่งซื้อของลูกค้าทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ปัญหา ที่มีขนาดความยาว 5, 10, 10 และ 15 ขนาด ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม มี รายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

กำหนดให้ความยาวของม้วนฟิล์มตั้งต้น เท่ากับ 2,150 มิลลิเมตร, ขนาดความยาวที่ต้องการ และจำนวนม้วน แสดงดังตารางที่ 12



ตารางที่ 12 ตัวอย่างของปัญหาจากคำสั่งซื้อของลูกค้า 4 ตัวอย่าง

ลำดับ	ความยาว ฟิล์มตั้ง ต้น	ปัญหาที่ 1 (เล็ก)		ปัญหาที่ 2 (กลาง)		ปัญหาที่ 3 (กลาง)		ปัญหาที่ 4 (ใหญ่)	
		ขนาด	จำนวน	ขนาด	จำนวน	ขนาด	จำนวน	ขนาด	จำนวน
		(มม.)	(ม้วน)	(มม.)	(ม้วน)	(มม.)	(ม้วน)	(มม.)	(ม้วน)
1	2150	370	50	127	50	350	50	298	50
2		170	100	47	100	300	100	275	50
3		250	30	182	75	220	100	250	50
4		100	100	87	50	200	30	239	60
5		200	30	100	50	190	50	222	60
6				39	100	150	30	199	60
7				165	50	120	100	176	80
8				55	100	90	30	145	80
9				187	75	70	30	122	100
10				220	75	50	50	112	100
11								100	100
12								97	100
13								85	200
14								60	200
15								50	250



## บทที่ 4

### ผลและวิเคราะห์ผล

การวัดประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบที่มาจากโรงงานการศึกษา และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบที่มาจากโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแต่มีข้อเสียตรงที่ใช้เวลาในการประมวลผลนานโดยแปรผันตามขนาดของปัญหา ข้อมูลที่จะนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ได้แก่

- 4.1 จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกใช้ในการตัด (Number of rolls)
- 4.2 ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด (%Waste)
- 4.3 ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์ (%Utilization)
- 4.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ (Processing time)

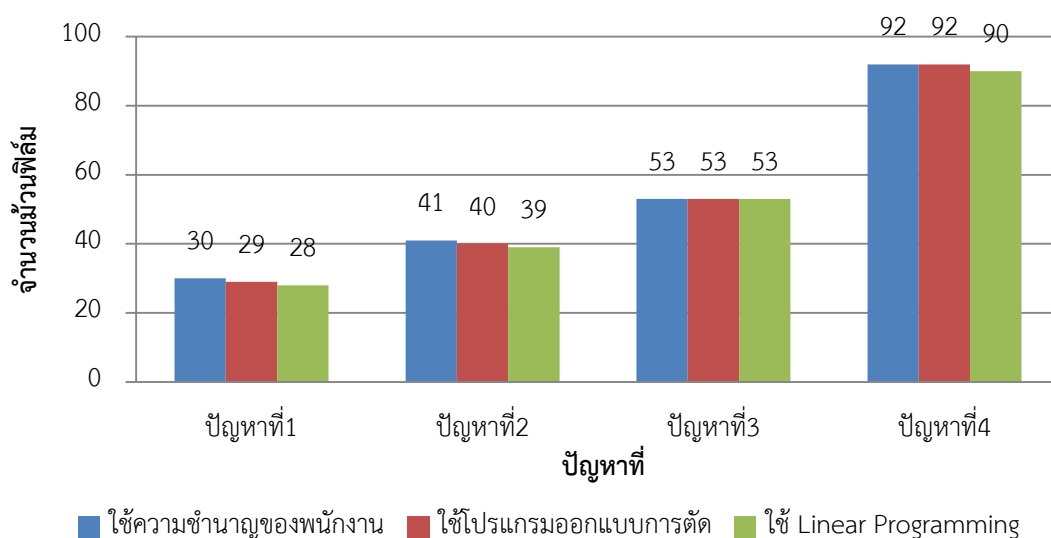
และตัวอย่างของปัญหามาจากคำสั่งซื้อของลูกค้าทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ปัญหาที่มีขนาดความยาว 5, 10, 10 และ 15 ขนาด จากตัวอย่างปัญหาดังกล่าว จะแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.1 จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกใช้ในการตัด (Number of rolls)

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกใช้ในการตัด

ปัญหาที่	ใช้ความ	ใช้โปรแกรมออกแบบ	Linear Programming
	ชำนาญของพนักงาน	การตัดม้วนฟิล์ม	
หน่วย	ม้วน	ม้วน	ม้วน
1	30	29	28
2	41	40	39
3	53	53	53
4	92	92	90
<b>รวม</b>	<b>216</b>	<b>214</b>	<b>210</b>

จากตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นที่ใช้ จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบจากปัญหาทั้ง 4 ปัญหา พบว่าโปรแกรมออกแบบการตัดใช้ม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมด 214 ม้วน ซึ่งน้อยกว่าจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่พนักงานใช้ในการออกแบบอยู่ 2 ม้วน หากคิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดได้ ม้วนฟิล์มตั้งต้น ราคา ม้วนละ 97,000 บาท ในตัวอย่างปัญหาทั้งหมด 4 ปัญหา สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 194,000 บาท และเมื่อวัดผลของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากจากวิธีการ Linear Programming จะเห็นได้ว่า โปรแกรมออกแบบการตัดใช้จำนวนม้วนฟิล์มมากกว่าคำตอบที่ดีที่สุด 4 ม้วนเท่านั้น ซึ่งรายละเอียดการเปรียบเทียบจะแสดงในรูปแผนภูมิแท่ง ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้น (ม้วน)

จากภาพที่ 14 จะแสดงการเปรียบเทียบจำนวนม้วนตั้งต้นที่ใช้ในแต่ละวิธี เมื่อเปรียบเทียบจำนวนม้วนที่ได้จากความชำนาญของพนักงานกับจำนวนม้วนที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัด จะเห็นว่า ในปัญหาที่ 1 และ 2 โปรแกรมใช้จำนวนม้วนน้อยกว่า 1 ม้วน และเมื่อเปรียบเทียบผลของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากจากวิธีการ Linear Programming จะเห็นได้ว่า โปรแกรมออกแบบการตัดใช้จำนวนม้วนฟิล์มมากกว่าคำตอบที่ดีที่สุด 1-2 ม้วนเท่านั้น

#### 4.2 ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด (%Waste)

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบจำนวนเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด

ปัญหาที่	ใช้ความ ชำนาญของ พนักงาน	ผลต่างของ โปรแกรมกับ ความ ชำนาญของ พนักงาน	ใช้โปรแกรม ออกแบบการ ตัดม้วนฟิล์ม	ผลต่างของ โปรแกรม ออกแบบการ ตัดกับ LP	Linear Programming
หน่วย	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
1	8.53	+3.16%	5.37	-3.46%	1.91
2	6.72	+2.33%	4.39	-2.49%	1.90
3	4.52	0%	4.52	-1.19%	3.33
4	4.69	+1.27%	3.42	-2.27%	1.15
เฉลี่ย	6.12	1.27%	4.43	-2.27%	2.07

จากตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบจำนวนเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัดคิดโดยคิดเป็นร้อยละ จากปัญหาทั้ง 4 ปัญหา สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมออกแบบการตัดมีจำนวนเศษคิดเป็นร้อยละ น้อยกว่าจำนวนเศษคิดเป็นร้อยละของพนักงานในปัญหาที่ 1, 2 และ 4 และร้อยละเศษเหลือเท่ากัน ในปัญหาที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบโปรแกรมออกแบบการตัดกับคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีการ Linear Programming จะเห็นได้ว่า ร้อยละเศษเหลือของโปรแกรมออกแบบการตัดมากกว่า วิธีการ LP อยู่ ร้อยละ 1.19 – 3.46

#### 4.3 ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์ (%Utilization)

การคำนวณหาร้อยละการใช้ประโยชน์ (%Utilization) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\%Utilization = \frac{(\text{จำนวนม้วน} - \text{เศษเหลือ})}{\text{จำนวนม้วน}} \times 100$$

โดยที่

จำนวนม้วน คือ จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้ หน่วยเป็น ม้วน

เศษเหลือ คือ จำนวนเศษที่เหลือจากการตัดม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมด หน่วยเป็น มิลลิเมตร

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบร้อยละการใช้ประโยชน์

ปัญหา ที่	%การใช้ ประโยชน์ ของความ ชำนาญของ พนักงาน	ผลต่างของ โปรแกรมกับ ความชำนาญ ของพนักงาน	%การใช้ ประโยชน์ของ โปรแกรม ออกแบบการ ตัด	ผลต่างของ โปรแกรม ออกแบบการ ตัดกับ LP	%การใช้ ประโยชน์ของ Linear Programming
หน่วย	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
1	91.47	+3.16	94.63	-3.46	98.09
2	93.28	+2.33	95.61	-2.49	98.10
3	95.48	0	95.48	-1.19	96.67
4	95.31	+1.27	96.58	-2.27	98.85
เฉลี่ย	93.89	+1.69	95.58	-2.35	97.93

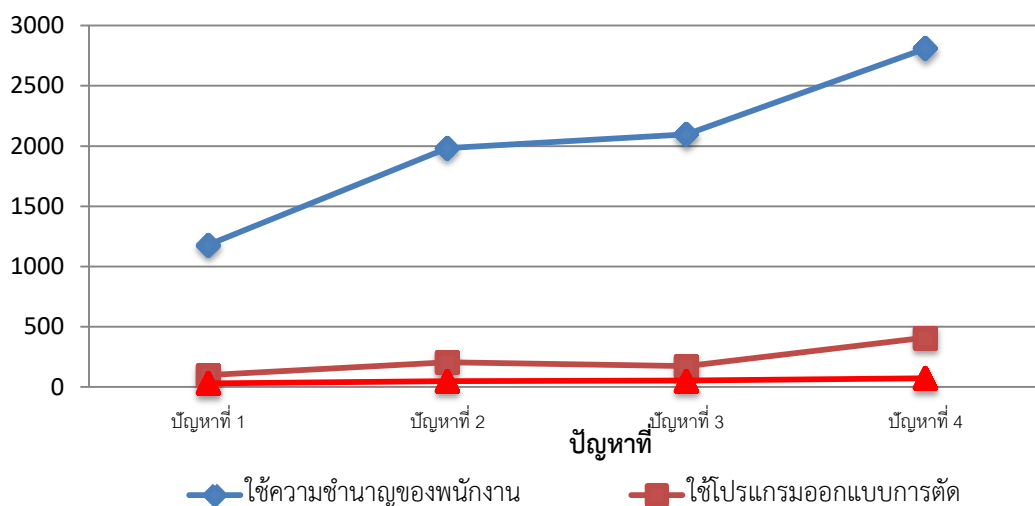
จากตารางที่ 15 ร้อยละของการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มมากกว่าร้อยละของการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยจากความชำนาญของพนักงานอยู่ 1.69 และ ร้อยละของการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม น้อยกว่าร้อยละของการใช้ประโยชน์จาก LP อยู่ 2.35

#### 4.4 ระยะเวลาในการดำเนินการเฉลี่ย (Processing time)

ตารางที่ 16 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดำเนินการ

ปัญหาที่	ใช้ความ ชำนาญของ พนักงาน	ใช้โปรแกรมออกแบบการ ตัดม้วนฟิล์ม	Linear Programming
หน่วย	วินาที	วินาที	วินาที
1	1,180	97	29
2	1,984	205	49
3	2,097	173	52
4	2,810	408	71

จากตารางข้างต้นสามารถแสดงเป็นแผนภูมิ เพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนมากขึ้น  
ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 15 แผนภูมิเส้นแสดงเวลาที่ใช้ในการออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

จากภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าโปรแกรมออกแบบการตัดสามารถประหยัดเวลาในการออกแบบลงได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการออกแบบโดยใช้ความชำนาญของพนักงาน โดยจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่กรอกข้อมูล จนกระทั่งได้เป็นแผนการตัด โปรแกรมออกแบบการตัดจะใช้เวลาไม่เกิน 408 วินาที (ประมาณ 7 นาที) ในขณะที่เวลาออกแบบการตัดที่พนักงานใช้อยู่ในช่วง 1,180 วินาที (ประมาณ 20 นาที) จนถึง 2,810 วินาที (ประมาณ 47 นาที) และเมื่อเปรียบเทียบโปรแกรมออกแบบการตัดกับ LP พบว่า LP ใช้ระยะเวลามากที่สุดไม่เกิน 71 วินาที (ประมาณ 2 นาที) เท่านั้นซึ่งน้อยกว่า ระยะเวลาของโปรแกรมออกแบบการตัดที่ใช้เวลามากที่สุดอยู่ประมาณ 6 นาที

จากการวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบทั้ง 4 ปัจจัยแล้วพบว่า โปรแกรมออกแบบการตัด ยังดีกว่า LP ในทุกด้าน แม้กระทั่งเรื่องของระยะเวลาในการคำนวณ และเนื่องด้วยทฤษฎีที่ว่า ‘วิธีการทางเมตาฮิวริสติก สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ในระยะเวลาอันสั้น แต่อาจจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดดังเช่นวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) แต่ วิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ได้คุณภาพของคำตอบเป็นที่ยอมรับได้ภายในระยะเวลาอันสั้นกว่าวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดมาก’ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า ตัวอย่างปัญหาจากโรงงานกรณีศึกษาที่นำมาใช้ทดสอบยังไม่ถือว่าเป็นปัญหาขนาดใหญ่พอ ที่จะพิสูจน์ทฤษฎีดังกล่าว จึงนำปัญหาที่มีขนาดหน้าตัด 1,000 ขนาด ซึ่งแสดง

ใน ภาคผนวก ง มาใช้ในการดำเนินการระหว่างโปรแกรม LP และ โปรแกรมออกแบบการตัด เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในเรื่องของเวลาได้ชัดเจน จะแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม LP และ โปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม ดังนี้

ตารางที่ 17 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มและ วิธี LP

ปัจจัย	โปรแกรมออกแบบการตัด	โปรแกรม LP	ร้อยละผลต่าง
จำนวนม้วน (ม้วน)	1,599	1,556	-2.76
%เศษ (ร้อยละ)	24.34	22.24	-9.44
%Utilization (ร้อยละ)	75.66	77.76	-2.70
เวลา (วินาที)	6,802	34,320	+80.18

จากผลการทดสอบกับปัญหาที่มีขนาดหน้าตัด 1,000 ขนาด พบว่า โปรแกรมออกแบบการตัดใช้จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้น 1,599 ม้วน และ LP ใช้ม้วนฟิล์มตั้งต้น 1,556 ม้วนต่างกันเพียงร้อยละ 2.76 และเศษเหลือ (ร้อยละ) จากโปรแกรมออกแบบการตัดเท่ากับ 24.34 ซึ่งต่างจากวิธี LP เพียงร้อยละ 9.44 ในส่วนของร้อยละของการใช้ประโยชน์จากทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า โปรแกรมออกแบบการตัดได้ 75.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าวิธี LP อยู่เพียง 2.7 เปอร์เซ็นต์ หัวข้อสุดท้ายจากระยะเวลาในการคำนวณ พบว่า โปรแกรมออกแบบการตัดใช้เวลาในการคำนวณ 6,802 วินาที (ประมาณ 114 นาที) ซึ่ง LP ใช้เวลา 34,320 (ประมาณ 572 นาที) ซึ่งในเรื่องเวลาในการหาคำตอบแสดงให้เห็นว่า โปรแกรมออกแบบการตัดใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า LP ถึง 4 เท่า ในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เมื่อคิดเป็นร้อยละถือว่าโปรแกรมออกแบบการตัดสามารถคำนวณได้ไวกว่า LP ถึง 80.18 เปอร์เซ็นต์ จากตัวอย่างข้างต้นสามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ‘วิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ได้คุณภาพของคำตอบเป็นที่ยอมรับได้ภายในระยะเวลาอันสั้นกว่าวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดมาก’

แต่ในการนำไปใช้งานจริงนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่า ผู้ใช้งานต้องการคำนึงถึงประสิทธิภาพในด้านใดเป็นสำคัญ ถ้าเป็นงานที่ต้องการคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดและสามารถยอมรับได้ว่าอาจจะต้องใช้เวลาในการคำนวณนานมากๆ อาจเลือก ใช้ วิธี LP แต่ถ้าไม่จำเป็นว่าจะต้องเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเพียงแค่นั้น ต้องการคำตอบที่มีค่าใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด และยังช่วยประหยัดเวลาในการหาคำตอบด้วย โปรแกรมออกแบบการตัดก็เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับใช้แก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มน้าว ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการทางเมตาฮิวริสติก มาพัฒนาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ เพื่อสร้างเป็นโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม ขั้นตอนดังกล่าวพัฒนาบนโปรแกรม Matlab2015 โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบการตัดม้วนฟิล์มของโรงงานกรณีศึกษา หลังจากพัฒนาจนได้โปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มแล้ว จึงนำโปรแกรดังกล่าวไปทำการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยนำตัวอย่างปัญหาจริงที่ได้จากคำสั่งซื้อของลูกค้าจากโรงงานกรณีศึกษามาทั้งหมด 4 ปัญหา และแต่ละปัญหามีขนาดความยาวต่างๆ กัน ได้แก่ 5, 10, 15 และ 15 ขนาด และทำการเก็บข้อมูลปัจจัยที่จะนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบได้แก่ 1) จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ใช้ในการตัด 2) ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด 3) ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์ 4) ระยะเวลาในการดำเนินการ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ผลในแต่ละด้าน สามารถสรุปได้ดังนี้

##### 5.1.1 จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ใช้ในการตัด

ผลการเปรียบเทียบจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้ใน 4 ตัวอย่างปัญหา พบว่าจำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นทั้งหมดที่พนักงานผู้ชำนาญงานใช้ในการออกแบบ 216 ม้วน และโปรแกรมออกแบบการตัดใช้ม้วนฟิล์มตั้งต้นเพียง 214 ม้วน สรุปว่า โปรแกรมออกแบบการตัดใช้จำนวนม้วนฟิล์มตั้งต้นน้อยกว่าที่พนักงานใช้ในการออกแบบอยู่ 2 ม้วน หากคิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดได้ในตัวอย่างปัญหาทั้งหมด 4 ปัญหา สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 194,000 บาท

##### 5.1.2 ประเมินร้อยละของเศษทั้งหมดที่เหลือจากการตัด

โปรแกรมออกแบบการตัดเหลือเศษทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 4.43 และการออกแบบการตัดของพนักงานผู้ชำนาญงาน เหลือเศษจากการตัดทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.12 สรุปว่า โปรแกรมออกแบบการตัดสามารถลด เปอร์เซ็นต์เศษที่เหลือจากการตัดได้มากกว่าถึง 1.27%



### 5.1.3 ประเมินร้อยละการใช้ประโยชน์

ร้อยละของการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยจากความชำนาญของพนักงานอยู่ที่ 93.89 และร้อยละของการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยจากโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม เท่ากับ 95.58 มากกว่า สรุปได้ว่า ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัดดีกว่าถึง 1.69 เปอร์เซ็นต์

### 5.1.4 ระยะเวลาในการดำเนินการ

โปรแกรมออกแบบการตัดสามารถประหยัดเวลาในการออกแบบลงได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการออกแบบโดยใช้ความชำนาญของพนักงาน โดยจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่กรอกข้อมูลจนกระทั่งได้เป็นแผนการตัด โปรแกรมออกแบบการตัดจะใช้เวลาไม่เกิน 408 วินาที (ประมาณ 7 นาที) ในขณะที่เวลาออกแบบการตัดที่พนักงานใช้อยู่ในช่วง 1,180 วินาที (ประมาณ 20 นาที) จนถึง 2,810 วินาที (ประมาณ 47 นาที) สรุปว่าโปรแกรมออกแบบการตัดใช้ระยะเวลาในการคำนวณสั้น และช่วยประหยัดเวลามากกว่าการออกแบบการตัดโดยพนักงาน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มนี้ สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายอุตสาหกรรม ที่มีลักษณะเป็นแบบปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ สำหรับวัสดุตั้งต้นที่มีขนาดความยาวเดียวยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมตัดท่อนไม้ อุตสาหกรรมตัดท่อ อุตสาหกรรมตัดเหล็กเส้น เป็นต้น เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถออกแบบการตัดให้ได้รูปแบบการตัดที่มีประสิทธิภาพ ทั้งยังช่วยประหยัดเวลาในการคำนวณอีกด้วย และเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปในอนาคต อาจเพิ่มจำนวนของวัสดุตั้งต้นให้มีหลายขนาดมากขึ้น และเพิ่มข้อจำกัดในด้านการทำงาน ตัวอย่างเช่น ระยะเวลาในการเปลี่ยนใบมีด ระยะเวลาในการเปลี่ยนม้วนฟิล์ม ลำดับการออกแบบไม่ซับซ้อนเกินไปเพื่อให้พนักงานหน้าเครื่องสามารถทำงานได้ง่าย ถือเป็นข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาให้เหมาะสมกับแต่ละอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป





ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากตัวอย่างของปัญหาในงานวิจัยของ Belov and Scheithauer

ตารางที่ 18 ตัวอย่างปัญหาจากงานวิจัยของ (Belov &amp; Scheithauer, 2003)

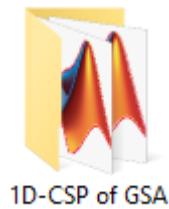
ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
1	696	1	47	490	1	93	252	1
2	686	2	48	484	1	94	239	1
3	683	1	49	480	1	95	231	1
4	675	1	50	474	1	96	230	1
5	674	1	51	473	2	97	228	1
6	670	2	52	466	1	98	224	2
7	669	1	53	462	2	99	221	1
8	668	1	54	457	1	100	211	2
9	665	1	55	448	1	101	210	1
10	663	2	56	430	2	102	209	1
11	662	1	57	429	1	103	208	1
12	657	1	58	423	1	104	205	1
13	653	1	59	419	1	105	197	1
14	649	2	60	408	1	106	193	2
15	641	1	61	405	1	107	185	1
16	632	2	62	403	1	108	184	1
17	627	1	63	399	1	109	182	1
18	622	1	64	390	1	110	173	1
19	621	1	65	389	1	111	166	1
20	620	1	66	387	1	112	142	1
21	619	2	67	383	1	113	133	1
22	614	1	68	382	1	114	123	1
23	612	1	69	381	1	115	120	2
24	608	1	70	378	1	116	115	1
25	606	1	71	370	1	117	109	1
26	605	1	72	364	1	118	95	1

ตารางที่ 18 ตัวอย่างปัญหาจากงานวิจัยของ (Belov &amp; Scheithauer, 2003) (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการ ตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการ ตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการ ตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
27	603	2	73	359	2	119	92	1
28	599	2	74	358	1	120	77	1
29	598	1	75	341	1	121	72	1
30	597	2	76	340	1	122	69	1
31	595	1	77	339	1	123	59	1
32	593	1	78	335	2	124	57	1
33	575	1	79	328	1	125	45	1
34	566	1	80	323	1	126	40	1
35	558	1	81	321	1	127	39	1
36	556	1	82	320	1	128	32	1
37	551	1	83	318	1	129	31	1
38	544	2	84	305	1	130	29	1
39	521	1	85	303	2	131	28	1
40	518	1	86	293	1	132	24	1
41	514	2	87	290	1	133	22	3
42	505	1	88	286	1	134	18	1
43	499	1	89	283	1	135	17	1
44	496	1	90	273	1	136	11	1
45	494	1	91	268	1			
46	491	2	92	263	1			

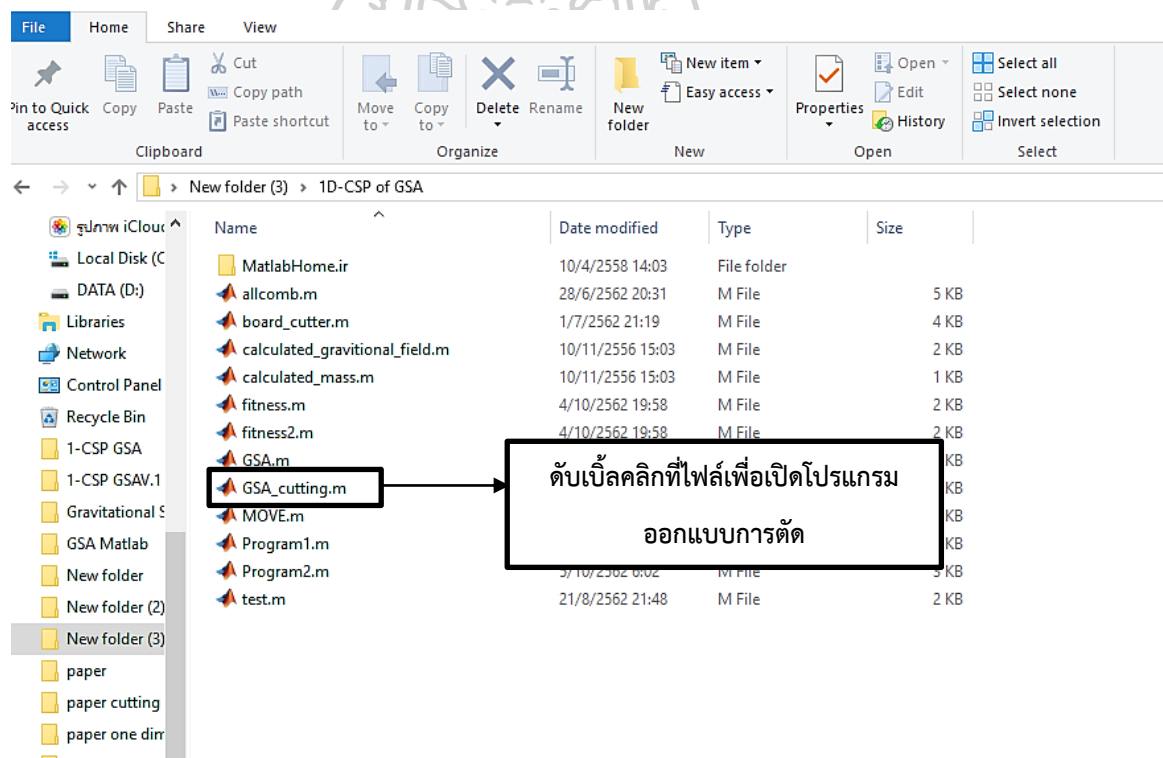


ขั้นตอนที่ 1: เริ่มการใช้งานโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มโดยการดับเบิลคลิกที่โฟลเดอร์ 1D-CSP of GSA ดังภาพที่ 16



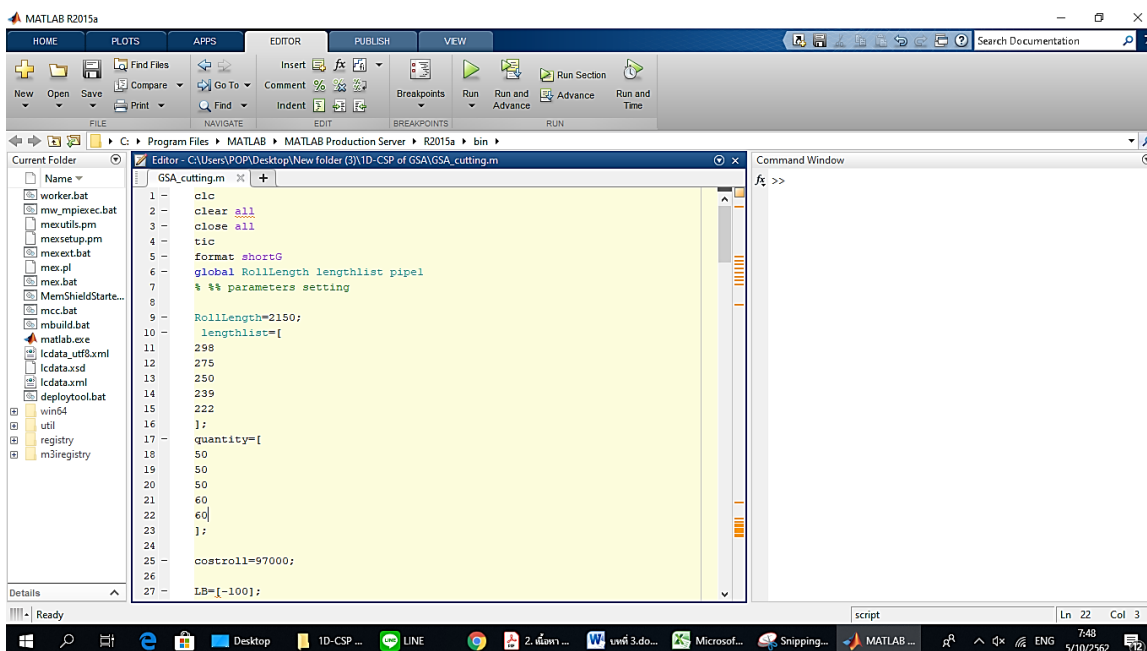
ภาพที่ 16 Folder ของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

ขั้นตอนที่ 2: จะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 17 จากนั้น ให้ดับเบิลคลิกที่ ไฟล์ GSA\_cutting.m เพื่อเปิด Code ของโปรแกรมออกแบบงานตัดด้วยโปรแกรม Minitab



ภาพที่ 17 Folder ของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

### ขั้นตอนที่ 3: หน้าจอจะปรากฏหน้าต่างของโปรแกรมขึ้นมาแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 หน้าต่างของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

ขั้นตอนที่ 4: กำหนดความยาวของม้วนฟิล์มตั้งต้น (RollLength), กำหนดขนาดความยาวของม้วนฟิล์มที่ต้องการตัด (lengthlist), กำหนดจำนวนม้วนฟิล์มแต่ละขนาดที่ต้องการ (quantity) และกำหนดต้นทุนต่อม้วน

ข้อควรระวัง: เวลากรอกข้อมูล lengthlist และ quantity จะต้องเรียงกันตามลำดับจะสลับกันไม่ได้ และชุดข้อมูลจะต้องอยู่ในเครื่องหมาย [ ];



```

7
8 %% parameters setting
9 RollLength=2150;
10 lengthlist=[
11 350
12 300
13 220
14 200
15 190
16 150
17 1;
18 quantity=[
19 50
20 100
21 100
22 30
23 50
24 30;
25 ];
26
27 costroll=0;
28
29
30 LB=[0 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100 -100];
31 UB=[10 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100];
32 Rpower0=[0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2];

```

ภาพที่ 19 แสดงวิธีการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 5: ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.3 โดยกำหนดค่า ดังนี้:  $N = 60$ ,  $\alpha = 30$ ,  $G_0 = 50$  และจำนวนรอบ = 1,000 รอบ

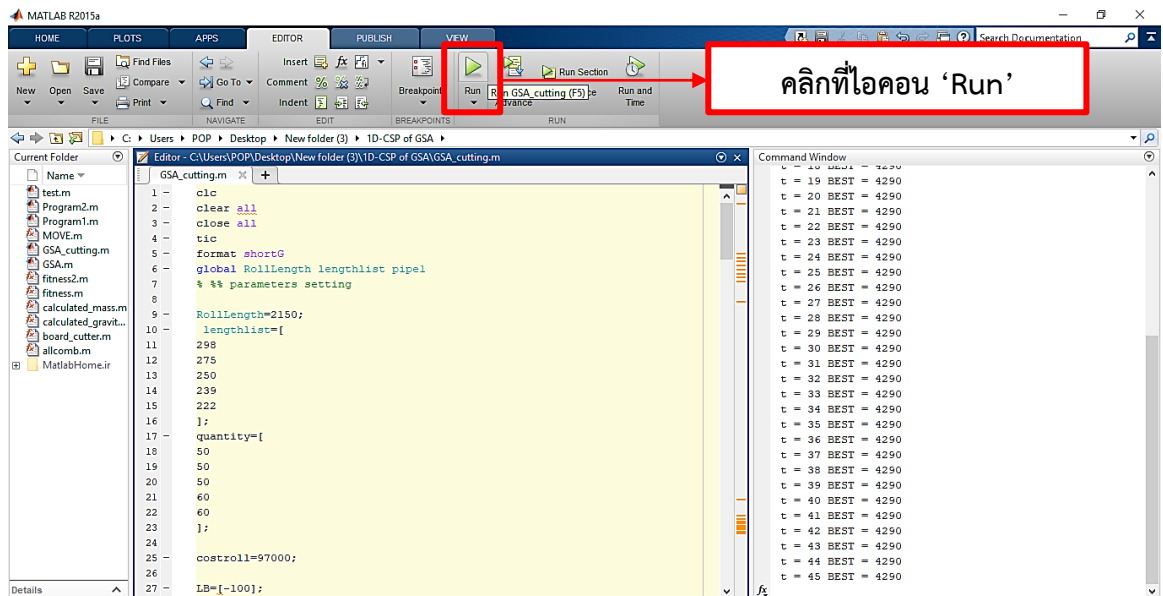
```

40 200
41 200
42 250
43 ];
44
45 costroll=97000;
46
47 LB=[-100];
48
49 UB=[100];
50
51 Rpower0=[0.2];
52
53 iteration0=[1000];
54
55 ncol0=[60];
56
57 Alpha0=[30];
58
59 G00=[50];
60
61 nbest0=[1];
62

```

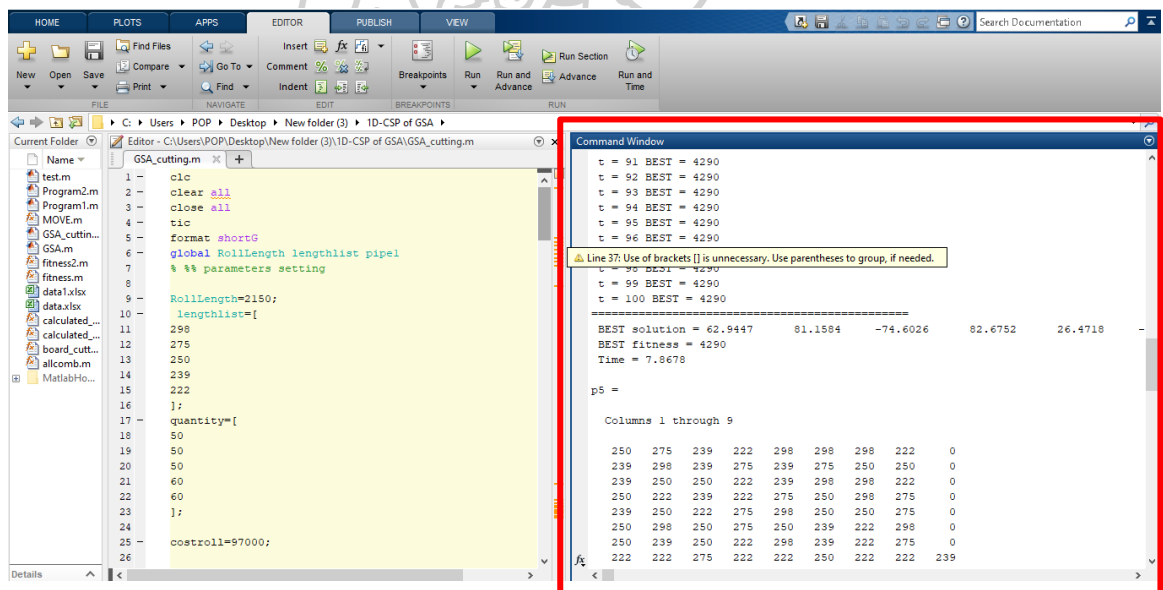
ภาพที่ 20 แสดงวิธีการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 6: จากนั้นเมื่อทำการกรอกข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ไอคอน “RUN” ดังภาพที่ 21 เพื่อให้โปรแกรมประมวลผล



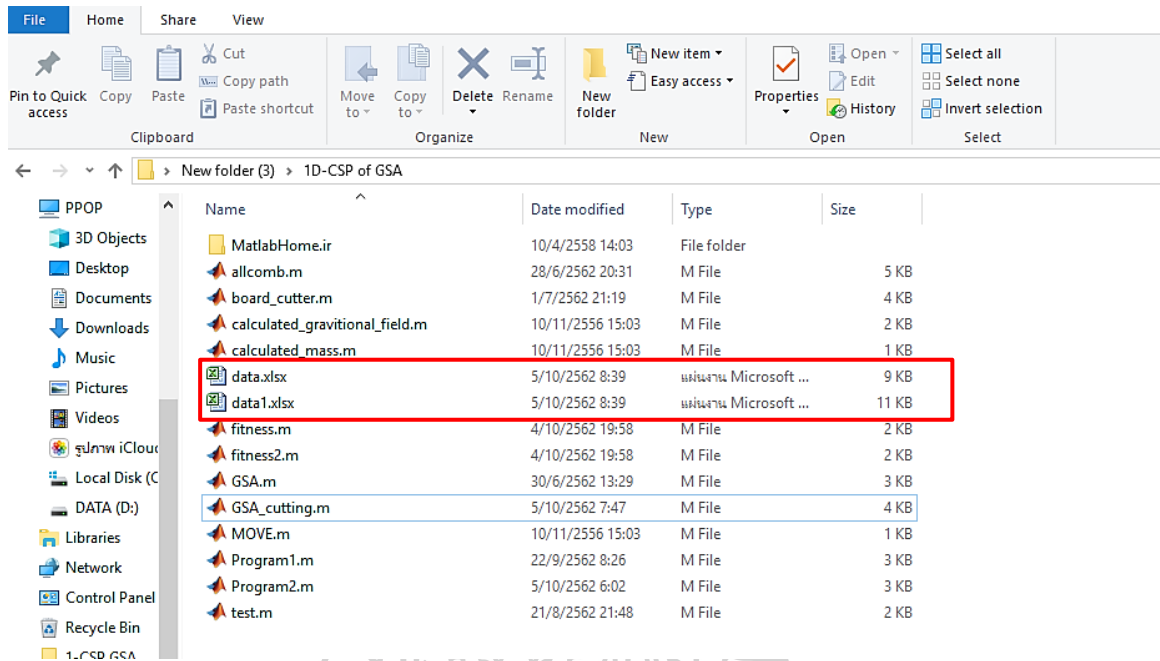
ภาพที่ 21 แสดงการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

หลังจากโปรแกรมประมวลผลเสร็จสิ้น จะแสดงข้อมูลใน ช่อง Command Window ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แสดงการทำงานของโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์ม

ขั้นตอนที่ 7: เพื่อให้ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถอ่านค่าได้โดยง่าย เมื่อโปรแกรมออกแบบการตัดม้วนฟิล์มประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะสามารถเรียกดูข้อมูลเป็นไฟล์ excel ได้โดยการเปิดโฟลเดอร์ 1D-CSP of GSA ขึ้นมาอีกครั้งจะพบ ไฟล์ 'data.xlsx' และ 'data1.xlsx' ดังภาพที่ 23 จากนั้นให้ดับเบิลคลิกเพื่อเปิดทั้งสองไฟล์ขึ้นมา



ภาพที่ 23 แสดงวิธีการเปิดไฟล์ข้อมูล excel

ไฟล์ 'data.xlsx' จะแสดงผลการประมวลผลของโปรแกรม โดยมีข้อมูลดังนี้

Run No.	BEST fitness	Number of Rolls(Roll)	Number of Scrap(mm.)	%Utilization	Cost	Time	%Waste
1	4290	34	4290	94.13132695	3,491,548.84	20.02488	5.868673

ภาพที่ 24 แสดงข้อมูลในไฟล์ 'data.xlsx'

และไฟล์ 'data1.xlsx' จะแสดงรูปแบบการตัดม้วนฟิล์ม ดังภาพที่ 25 โดยข้อมูลในแถวที่ 1 คือ รูปแบบการตัดของม้วนฟิล์มตั้งต้นม้วนที่ 1 และเซลล์สุดท้ายของแต่ละแถว คือ เซลล์ที่เหลือจากการตัดของม้วนฟิล์มตั้งต้นแต่ละม้วน

data1.xlsx - Microsoft Excel (การเปิดใช้งานผลิตภัณฑ์ทั้งหมด)

เมนู หน้าแรก แทรก เครื่องมือการกระจาย สูตร ข้อมูล ตารางงาน มุมมอง มีที่พิมพ์ Add-In Acrobat

ฟอนต์ Tahoma 11 A A

การตั้งค่ารูปแบบ สีรูปแบบ ลักษณะงาน

การคำนวณ การคำนวณ

ตัวเลข

ลักษณะ

สูตรรวมอัตโนมัติ

เริ่ม

ใส่ค่ากับ และของ

เลือก

การแก้ไข

N21

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	250	275	239	222	298	298	298	222	0	48								
2	239	298	239	275	239	275	250	250	0	85								
3	239	250	250	222	239	298	298	222	0	132								
4	250	222	239	222	275	250	298	275	0	119								
5	239	250	222	275	298	250	250	275	0	91								
6	250	298	250	275	250	239	222	298	0	68								
7	250	239	250	222	298	239	222	275	0	155								
8	222	222	275	222	222	250	222	222	239	54								
9	222	250	250	239	275	275	275	275	0	89								
10	275	222	250	222	222	222	250	250	0	237								
11	275	298	298	275	239	222	222	239	0	82								
12	222	250	298	222	222	275	239	275	0	147								
13	275	239	250	275	239	222	239	239	0	172								
14	239	275	298	239	298	222	250	250	0	79								
15	239	222	239	298	222	222	250	222	0	236								
16	239	298	222	250	298	239	250	239	0	115								
17	222	275	222	275	298	239	222	222	0	175								
18	239	298	239	275	275	222	239	239	0	124								
19	250	222	250	275	239	250	222	298	0	144								
20	239	275	275	275	239	275	275	239	0	83								
21	222	250	275	275	239	222	250	222	0	195								
22	275	250	239	222	239	298	239	298	0	90								
23	239	239	250	275	298	298	298	222	0	31								
24	275	222	239	250	298	275	298	0	0	293								
25	298	222	222	222	239	298	239	250	0	160								
26	275	275	298	275	298	298	250	0	0	181								
27	239	275	239	239	298	250	239	298	0	73								

Sheet1 Sheet2 Sheet3 Sheets1

ภาพที่ 25 แสดงข้อมูลในไฟล์ 'data1.xlsx'





## โปรแกรมเชิงเส้นของปัญหาการตัดหนึ่งมิติ (Linear Programming of 1D-CSP)

โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับปัญหาการตัดแบบหนึ่งมิติที่ผู้วิจัยนำมาเป็นเกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากโปรแกรมออกแบบการตัด เป็นโปรแกรมสำหรับทดลองใช้ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย MathWorks ซึ่งเป็นผู้พัฒนาซอฟต์แวร์คำนวณทางคณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งคำตอบที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้นจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด และมีสูตรแนวทางในการเขียนโปรแกรมมาจากงานวิจัยของ (Gilmore & Gomory, 1961) จะแสดงรายละเอียดของโปรแกรมและสูตรของ MATLAB ดังนี้

### ตัวอย่างปัญหาการตัดท่อนไม้

เริ่มจากกำหนดความยาวตั้งต้นคงที่เท่ากับ 40 ดังภาพที่ 26

```
- logLength = 40;
```

ภาพที่ 26 กำหนดความยาวท่อนไม้ตั้งต้น

จากนั้นระบุความยาวและจำนวนที่ต้องการตัด ดังภาพที่ 27

```
lengthlist = [8; 12; 16; 20];
ปริมาณ = [90; 111; 55; 30];
nLengths = length (รายการความยาว);
```

ภาพที่ 27 กำหนดความยาวและจำนวนที่ต้องการตัด

จากนั้นสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้เริ่มต้นให้ใช้รูปแบบที่ง่ายที่สุดซึ่งมีความยาวเพียงหนึ่งการตัด ใช้การตัดที่มีความยาวมากที่สุดเท่าที่จะทำได้สำหรับบันทึก ดังภาพที่ 28

```
patterns = diag (floor (logLength./lengthlist));
n รูปแบบ = ขนาด (รูปแบบ, 2);
```

ภาพที่ 28 สร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้เริ่มต้น

หากต้องการสร้างรูปแบบใหม่จากรูปแบบที่มีอยู่ตามตัวคูณของ Lagrange ปัจจุบัน และให้แก่ปัญหาย่อยในลูบเพื่อสร้างรูปแบบจนกว่าจะไม่พบการปรับปรุงเพิ่มเติม วัตถุประสงค์ย่อยปัญหาขึ้นอยู่กับตัวคูณ Lagrange ปัจจุบันเท่านั้น และตัวแปรเป็นจำนวนเต็มไม่ใช่ค่าติดลบ ข้อจำกัดเพียงอย่างเดียวคือผลรวมของความยาวของการตัดในรูปแบบไม่เกินความยาวตั้งต้น จากนั้นสร้างเวกเตอร์ lb2 และเมทริกซ์ที่มีขอบเขตล่าง A2 และ b2แสดงถึงขอบเขตและข้อจำกัดเชิงเส้นเหล่านี้ จะแสดงดังภาพที่

```
lb2 = ศูนย์ (nLengths, 1);
A2 = รายการความยาว ';
b2 = logLength;
```

ภาพที่ 29 แสดงกำหนดข้อจำกัดและสร้างขอบเขตล่าง และเพื่อหลีกเลี่ยงปัจจัยและข้อจำกัดอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็น จะตั้งค่าตัวเลือก Display ให้เป็น 'off' สำหรับทั้งวงนอกและค่าคำตอบย่อยปัญหาด้านใน

```
lpopts = optimoptions ( 'linprog' , 'Display' , 'off' );
ipopts = การเพิ่มประสิทธิภาพ ( 'intlinprog' , lpopts);
```

ภาพที่ 30 แสดงการจัดขอบเขตของค่าคำตอบ จากนั้นเตรียมใช้งานตัวแปรสำหรับรูป ในภาพที่ 31 และ ภาพที่ 32

```
lowerCost = -Inf;
lowerCostTolerance = -0.0001;
exitflag = 1;
```

ภาพที่ 31 แสดงการใช้งานตัวแปรรูป

```
while reducedCost < reducedCostTolerance && exitflag > 0
    lb = zeros(nPatterns,1);
    f = lb + 1;
    A = -patterns;
    b = -quantity;

    [values,nLogs,exitflag,~,lambda] = linprog(f,A,b,[],[],lb,[],lpopts);
    if exitflag > 0
        fprintf('Using %g logs\n',nLogs);
        % Now generate a new pattern, if possible
        f2 = -lambda.ineqlin;
        [values,reducedCost,pexitflag] = intlinprog(f2,1:nLengths,A2,b2,[],[],lb2,[],ipopts);
        reducedCost = 1 + reducedCost; % continue if this reducedCost is negative
        newpattern = round(values);
        if pexitflag > 0 && reducedCost < reducedCostTolerance
            patterns = [patterns newpattern];
            nPatterns = nPatterns + 1;
        end
    end
end
end
```

ภาพที่ 32 แสดงการใช้งานตัวแปรรูป

เมื่อได้โปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ให้แก้ปัญหาอีกครั้งด้วยรูปแบบสุดท้ายโดยใช้ intlinprog และ ตัวแปรทั้งหมดเป็นจำนวนเต็ม นอกจากนี้ให้คำนวณปริมาณของเสียที่ไม่ได้ใช้ สำหรับแต่ละรูปแบบ และสำหรับปัญหาโดยรวม จะแสดงดังภาพที่ 33

```

if exitflag <= 0
    disp('Error in column generation phase')
else
    [values,logsUsed,exitflag] = intlinprog(f,1:length(lb),A,b,[],[],lb,[],[],ipopts);
    if exitflag > 0
        values = round(values);
        logsUsed = round(logsUsed);
        fprintf('Optimal solution uses %g logs\n', logsUsed);
        totalwaste = sum((patterns*values - quantity).*lengthlist); % waste due to overproduction
        for j = 1:size(values)
            if values(j) > 0
                fprintf('Cut %g logs with pattern\n',values(j));
                for w = 1:size(patterns,1)
                    if patterns(w,j) > 0
                        fprintf('    %d cut(s) of length %d\n', patterns(w,j),lengthlist(w));
                    end
                end
                wastej = logLength - dot(patterns(:,j),lengthlist); % waste due to pattern inefficiency
                totalwaste = totalwaste + wastej;
                fprintf('    Waste of this pattern is %g\n', wastej);
            end
        end
        fprintf('Total waste in this problem is %g.\n',totalwaste);
    else
        disp('Error in final optimization')
    end
end
end

```

ภาพที่ 33 แสดงวิธีแก้ปัญหาและจำนวนของเสียโดยรวม

ในตอนสุดท้ายโปรแกรมจะแสดงผลซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 34

```

Optimal solution uses 89 logs
Cut 1 logs with pattern
    3 cut(s) of length 12
    Waste of this pattern is 4
Cut 15 logs with pattern
    2 cut(s) of length 20
    Waste of this pattern is 0
Cut 18 logs with pattern
    1 cut(s) of length 8
    2 cut(s) of length 16
    Waste of this pattern is 0
Cut 36 logs with pattern
    2 cut(s) of length 8
    2 cut(s) of length 12
    Waste of this pattern is 0
Cut 19 logs with pattern
    2 cut(s) of length 12
    1 cut(s) of length 16
    Waste of this pattern is 0
Total waste in this problem is 28.

```

ภาพที่ 34 แสดงรูปแบบการตัดท่อนไม้ และแสดงปริมาณของเสียโดยรวม





ภาคผนวก ง

ข้อมูลของปัญหาที่มีขนาดความยาว 1000 ขนาด

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1,000 ขนาดความยาว

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
1	690	2	27	48	1	53	17	1
2	754	5	28	10	3	54	298	5
3	572	3	29	55	4	55	295	2
4	359	3	30	494	4	56	671	4
5	349	2	31	329	5	57	606	1
6	651	3	32	197	3	58	424	1
7	59	5	33	389	5	59	366	5
8	619	1	34	228	4	60	689	5
9	319	2	35	340	2	61	388	1
10	406	3	36	105	3	62	125	2
11	116	4	37	196	3	63	134	5
12	347	2	38	81	4	64	81	4
13	696	4	39	36	1	65	217	4
14	769	3	40	283	1	66	506	3
15	503	2	41	354	1	67	54	1
16	709	1	42	353	2	68	527	1
17	310	2	43	648	2	69	647	2
18	19	1	44	643	4	70	709	5
19	211	2	45	280	1	71	374	5
20	136	5	46	12	4	72	773	4
21	8	2	47	426	5	73	607	5
22	290	4	48	182	2	74	134	3
23	112	5	49	567	2	75	296	2
24	355	4	50	775	4	76	774	5
25	409	5	51	713	5	77	717	3
26	771	2	52	719	2	78	512	3

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
79	714	4	105	681	5	131	81	4
80	588	2	106	525	2	132	422	3
81	248	1	107	397	3	133	351	3
82	410	4	108	495	5	134	696	2
83	768	2	109	593	5	135	31	4
84	628	3	110	338	1	136	467	3
85	697	2	111	113	2	137	109	5
86	32	4	112	704	4	138	213	2
87	234	4	113	725	1	139	272	3
88	157	5	114	465	5	140	223	3
89	458	4	115	19	4	141	573	3
90	169	3	116	200	1	142	759	1
91	663	1	117	182	5	143	490	4
92	535	2	118	558	1	144	408	2
93	668	4	119	635	4	145	206	3
94	397	2	120	413	4	146	626	4
95	313	4	121	175	2	147	194	1
96	124	4	122	278	3	148	546	3
97	758	2	123	345	2	149	598	4
98	345	2	124	325	3	150	534	3
99	508	3	125	251	2	151	307	4
100	607	2	126	754	1	152	738	5
101	71	3	127	364	5	153	586	1
102	553	2	128	48	3	154	443	3
103	501	2	129	747	4	155	15	2
104	19	4	130	529	5	156	452	5

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
157	170	1	183	350	1	209	117	2
158	757	1	184	63	2	210	605	5
159	652	1	185	206	1	211	40	5
160	360	2	186	136	1	212	381	5
161	585	2	187	397	3	213	77	4
162	132	5	188	685	5	214	112	4
163	89	1	189	625	4	215	152	4
164	428	4	190	581	1	216	772	4
165	81	1	191	778	1	217	220	2
166	747	2	192	771	2	218	94	1
167	503	3	193	601	4	219	166	1
168	485	2	194	531	1	220	534	2
169	548	1	195	380	5	221	216	4
170	220	3	196	780	1	222	365	2
171	475	2	197	721	3	223	345	5
172	279	2	198	730	2	224	8	2
173	711	2	199	381	3	225	582	2
174	309	5	200	508	4	226	732	5
175	769	1	201	542	5	227	619	5
176	551	2	202	535	2	228	568	3
177	330	4	203	235	4	229	406	3
178	498	3	204	274	4	230	57	4
179	137	5	205	148	1	231	51	5
180	83	4	206	685	1	232	455	4
181	220	2	207	332	2	233	569	5
182	764	3	208	152	3	234	252	4

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
235	393	4	261	572	1	287	278	1
236	174	2	262	774	2	288	752	4
237	702	5	263	472	5	289	168	3
238	330	3	264	260	5	290	65	3
239	207	1	265	696	3	291	565	2
240	591	3	266	66	5	292	125	2
241	701	4	267	395	3	293	364	5
242	6	2	268	93	1	294	257	2
243	652	2	269	304	3	295	245	3
244	116	1	270	509	2	296	130	3
245	73	3	271	369	4	297	55	5
246	111	3	272	651	4	298	334	3
247	70	1	273	771	2	299	110	1
248	389	2	274	96	1	300	352	2
249	185	4	275	588	3	301	120	3
250	325	4	276	704	3	302	527	5
251	652	2	277	96	2	303	24	1
252	237	5	278	234	4	304	70	2
253	122	2	279	611	1	305	582	1
254	351	3	280	569	1	306	72	3
255	359	4	281	308	1	307	761	4
256	669	2	282	515	5	308	59	4
257	255	4	283	561	4	309	727	2
258	464	2	284	758	5	310	301	2
259	697	4	285	76	3	311	654	3
260	155	4	286	524	1	312	158	1

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
313	743	1	339	678	4	365	447	4
314	617	2	340	759	5	366	661	5
315	376	1	341	742	4	367	9	1
316	659	3	342	671	1	368	79	5
317	560	5	343	563	4	369	637	5
318	761	1	344	144	1	370	198	2
319	458	5	345	524	1	371	519	2
320	698	5	346	653	1	372	723	2
321	315	4	347	354	4	373	585	2
322	226	3	348	58	2	374	248	2
323	469	4	349	63	1	375	705	4
324	190	4	350	288	1	376	174	2
325	37	5	351	129	2	377	696	2
326	88	3	352	360	4	378	91	1
327	177	2	353	249	3	379	487	2
328	164	2	354	56	2	380	333	1
329	131	1	355	677	3	381	615	1
330	108	2	356	573	2	382	381	4
331	93	3	357	7	5	383	316	1
332	26	3	358	559	3	384	80	4
333	85	5	359	29	4	385	726	2
334	48	4	360	381	3	386	120	3
335	714	3	361	184	2	387	361	3
336	334	2	362	59	2	388	747	3
337	236	2	363	426	5	389	243	5
338	491	5	364	150	5	390	622	2

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
391	640	1	417	757	5	443	215	2
392	501	2	418	464	1	444	72	5
393	235	3	419	580	4	445	711	2
394	484	3	420	364	5	446	704	4
395	59	1	421	138	2	447	635	5
396	493	2	422	540	1	448	255	5
397	90	1	423	389	2	449	433	5
398	502	5	424	593	2	450	780	4
399	416	3	425	18	4	451	18	3
400	734	5	426	67	5	452	753	4
401	56	5	427	180	5	453	464	3
402	414	5	428	775	3	454	170	3
403	285	5	429	160	5	455	726	4
404	580	4	430	138	5	456	7	1
405	485	2	431	141	5	457	767	4
406	380	3	432	767	3	458	572	4
407	251	1	433	385	3	459	497	1
408	557	3	434	681	1	460	112	2
409	693	3	435	633	4	461	48	2
410	701	4	436	424	4	462	346	1
411	87	5	437	85	1	463	714	1
412	432	3	438	388	2	464	400	1
413	380	2	439	313	3	465	291	5
414	370	2	440	526	1	466	322	5
415	222	5	441	15	3	467	456	3
416	367	1	442	405	5	468	175	3

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
469	328	5	495	518	4	521	134	4
470	735	4	496	259	5	522	451	5
471	246	2	497	645	3	523	536	2
472	319	1	498	752	3	524	688	4
473	758	5	499	571	2	525	588	1
474	61	1	500	276	5	526	609	3
475	444	1	501	776	1	527	229	1
476	514	2	502	444	5	528	757	2
477	191	3	503	204	1	529	648	4
478	380	5	504	496	2	530	633	3
479	57	1	505	680	3	531	318	2
480	413	1	506	354	4	532	533	4
481	99	2	507	535	4	533	770	4
482	158	5	508	478	3	534	59	2
483	390	5	509	294	1	535	443	5
484	266	3	510	124	3	536	764	1
485	275	5	511	391	4	537	730	2
486	222	1	512	168	5	538	23	1
487	414	4	513	140	4	539	401	1
488	11	3	514	676	1	540	400	1
489	373	1	515	487	2	541	253	2
490	416	4	516	569	1	542	39	3
491	609	2	517	110	3	543	430	4
492	250	2	518	277	1	544	702	3
493	691	2	519	678	4	545	407	5
494	467	5	520	497	2	546	20	3



ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
547	9	2	573	237	5	599	38	1
548	359	3	574	271	2	600	673	3
549	763	3	575	175	2	601	132	5
550	369	5	576	278	4	602	753	3
551	322	4	577	100	4	603	452	5
552	495	2	578	559	1	604	487	5
553	483	3	579	179	1	605	447	2
554	422	2	580	705	5	606	578	5
555	527	3	581	47	2	607	496	2
556	481	1	582	271	1	608	62	4
557	722	3	583	657	2	609	605	4
558	714	4	584	547	2	610	212	4
559	179	5	585	352	3	611	285	4
560	278	1	586	260	5	612	372	2
561	7	2	587	26	4	613	276	2
562	13	3	588	373	4	614	288	2
563	330	1	589	45	2	615	690	4
564	33	2	590	288	3	616	466	2
565	35	2	591	399	2	617	383	3
566	689	4	592	122	5	618	770	2
567	283	5	593	274	2	619	687	5
568	497	1	594	637	2	620	404	4
569	431	5	595	388	5	621	247	5
570	347	3	596	143	4	622	571	3
571	213	1	597	563	1	623	78	4
572	312	3	598	603	4	624	342	1

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
625	702	4	651	514	3	677	489	4
626	60	3	652	310	1	678	776	4
627	411	5	653	153	5	679	580	4
628	704	4	654	628	1	680	24	1
629	315	3	655	271	1	681	749	4
630	268	1	656	262	4	682	778	2
631	312	3	657	272	3	683	159	1
632	403	5	658	328	2	684	515	4
633	261	5	659	306	3	685	180	5
634	224	2	660	778	4	686	428	3
635	540	2	661	52	2	687	450	1
636	168	1	662	280	1	688	549	5
637	721	3	663	568	1	689	750	1
638	239	4	664	341	4	690	592	2
639	267	4	665	659	4	691	9	1
640	307	3	666	478	3	692	303	1
641	567	2	667	768	4	693	579	5
642	663	2	668	674	1	694	381	1
643	247	3	669	597	4	695	360	3
644	197	4	670	21	2	696	687	4
645	560	5	671	760	3	697	509	4
646	550	5	672	48	4	698	189	4
647	367	4	673	417	4	699	185	3
648	438	2	674	21	3	700	563	5
649	686	1	675	251	4	701	632	5
650	692	3	676	764	4	702	358	5

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
703	164	1	729	157	4	755	451	4
704	250	2	730	630	2	756	675	1
705	353	1	731	323	2	757	578	1
706	734	3	732	433	1	758	273	5
707	113	1	733	567	2	759	137	1
708	480	5	734	285	5	760	452	1
709	728	4	735	664	3	761	583	3
710	110	3	736	536	3	762	751	4
711	759	5	737	123	2	763	571	3
712	99	3	738	619	2	764	355	1
713	432	3	739	351	5	765	388	1
714	606	5	740	551	1	766	312	2
715	248	4	741	680	5	767	98	2
716	429	4	742	474	1	768	185	1
717	247	2	743	673	3	769	218	5
718	264	2	744	486	5	770	604	5
719	421	2	745	550	5	771	96	2
720	67	3	746	542	1	772	17	3
721	195	2	747	116	4	773	165	1
722	747	4	748	630	5	774	415	2
723	386	4	749	517	2	775	683	4
724	582	1	750	315	1	776	564	5
725	686	1	751	415	2	777	339	4
726	168	4	752	687	2	778	567	5
727	643	5	753	410	3	779	422	5
728	313	2	754	51	2	780	89	2

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
781	756	4	807	21	3	833	454	1
782	221	4	808	673	3	834	486	4
783	258	5	809	581	5	835	589	4
784	359	1	810	199	1	836	366	4
785	104	2	811	760	4	837	39	2
786	582	5	812	85	2	838	329	1
787	748	4	813	263	2	839	361	3
788	412	3	814	756	5	840	245	3
789	17	4	815	291	2	841	338	4
790	546	4	816	95	5	842	598	4
791	378	2	817	550	2	843	388	4
792	760	3	818	135	2	844	454	3
793	414	3	819	294	4	845	567	5
794	760	5	820	734	2	846	454	3
795	537	1	821	75	4	847	426	4
796	152	5	822	640	4	848	530	3
797	637	4	823	336	1	849	751	5
798	556	3	824	762	4	850	722	2
799	28	3	825	306	5	851	413	2
800	499	1	826	623	1	852	409	3
801	402	1	827	769	3	853	90	4
802	430	2	828	743	4	854	306	3
803	696	2	829	207	5	855	619	3
804	633	3	830	673	2	856	586	3
805	509	2	831	724	2	857	686	1
806	11	2	832	550	2	858	439	4

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
859	378	4	885	329	1	911	342	4
860	468	2	886	698	2	912	310	5
861	267	2	887	30	4	913	347	4
862	110	5	888	544	1	914	25	2
863	323	2	889	273	4	915	531	1
864	262	5	890	228	1	916	414	5
865	559	2	891	556	5	917	546	3
866	574	2	892	113	2	918	307	5
867	335	4	893	663	1	919	286	2
868	772	2	894	469	1	920	91	3
869	699	4	895	35	5	921	181	3
870	697	4	896	520	2	922	285	4
871	295	1	897	758	3	923	419	5
872	365	4	898	458	5	924	466	3
873	263	5	899	481	4	925	496	2
874	632	1	900	759	4	926	525	4
875	620	3	901	665	1	927	5	5
876	470	4	902	28	5	928	445	4
877	669	5	903	536	2	929	25	3
878	417	2	904	19	5	930	557	4
879	64	2	905	30	1	931	544	3
880	23	2	906	374	4	932	426	5
881	639	1	907	80	2	933	291	1
882	433	4	908	248	2	934	546	5
883	460	4	909	86	2	935	718	5
884	610	4	910	659	1	936	733	4

ตารางที่ 19 ข้อมูลของปัญหาทั้งหมด 1000 ขนาดความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)	ลำดับ	ขนาดที่ ต้องการตัด (มม.)	จำนวน (ม้วน)
937	560	4	963	41	4	989	312	5
938	707	3	964	329	5	990	127	2
939	411	2	965	610	1	991	456	4
940	295	5	966	253	2	992	536	2
941	210	1	967	735	3	993	394	4
942	697	1	968	350	5	994	480	2
943	730	5	969	223	1	995	743	4
944	352	4	970	441	5	996	577	4
945	23	4	971	566	4	997	140	5
946	512	3	972	162	3	998	541	4
947	627	1	973	269	4	999	306	2
948	604	5	974	54	3	1000	309	5
949	655	1	975	734	1			
950	110	1	976	59	4			
951	16	4	977	521	5			
952	48	5	978	677	5			
953	383	3	979	426	3			
954	85	2	980	704	3			
955	446	4	981	171	2			
956	360	1	982	662	5			
957	207	4	983	607	2			
958	156	4	984	262	5			
959	466	3	985	689	5			
960	647	2	986	57	4			
961	356	2	987	98	3			
962	624	5	988	183	3			



เข้าร่วมงานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 "Graduate School Conference 2019" ประจำปี 2562 จัดโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วันที่ 15 พฤศจิกายน 2562 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร



นำเสนอบทความชื่อ การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบโน้มน่วงสำหรับ ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ ในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3 "Graduate School Conference 2019" ประจำปี 2562 จัดโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วันที่ 15 พฤศจิกายน 2562 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร





## รายการอ้างอิง

- Belov, G., & Scheithauer, G. (2003). A Branch-and-Cut-and-Price Algorithm for One-Dimensional Stock Cutting and Two-Dimensional Two-Stage Cutting. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.2BE36F8D&site=eds-live&authtype=ip,uid>
- Berberler, M. E., Nuriyev, U., & Yildirim, A. (2011). A software for the one-dimensional cutting stock problem. *Journal of King Saud University - Science*, 23(1), 69-76. doi:10.1016/j.jksus.2010.06.009
- Christian, B., & Andrea, R. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.DBC5B31E&site=eds-live&authtype=ip,uid>
- Cimbala M. John. (2014). Taguchi Orthogonal Arrays. Penn State University,
- Dyckhoff, H. (1990). A Typology of Cutting and Packing Problems. doi:10.1016/0377-2217(90)90350-K special issue: "Cutting and Packing / ed. by H. Dyckhoff, G. Wascher"
- Gilmore, P. C., & Gomory, R. E. (1961). A Linear Programming Approach to the Cutting-Stock Problem. *Operations Research*, 9(6), 849. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsjsr&AN=edsjsr.167051&site=eds-live&authtype=ip,uid>
- Haessler, R. W., & Sweeney, P. E. (1991). Cutting stock problems and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 54(2), 141-150. doi:10.1016/0377-2217(91)90293-5
- Kantorovich, L. V. (1960). MATHEMATICAL METHODS OF ORGANIZING AND PLANNING PRODUCTION. *Management Science*, 6(4), 366. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=7452081&site=eds-live&authtype=ip,uid>
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., & Saryazdi, S. (2009). GSA: A Gravitational Search Algorithm. *Information Sciences*, 179(13), 2232-2248. doi:10.1016/j.ins.2009.03.004
- Sweeney, P. E. (1991). Cutting and packing problems : an updated literature review. In.

United States, North America.

Wagner, B. J. (1999). A genetic algorithm solution for one-dimensional bundled stock cutting. *European Journal of Operational Research*, 117(2), 368-381. doi:10.1016/S0377-2217(98)00244-6

จตุพร ใจดำรงค์. (2555). รูปแบบเริ่มต้นของฮิวริสติกแบบไปข้างหน้าของปัญหาการตัดแบ่งชิ้นงานหนึ่งมิติ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, เล่มที่ 24.

ประวีรา โปธิสุวรรณ. (2562). รายงานการศึกษาสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์. Retrieved from <http://www.oie.go.th>.

ปรีชา เกรียงกรกฎ, น. ี. (2553). โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดการปัญหาตัดแบ่งพัสดุแบบหนึ่งมิติด้วยวิธีฮิวริสติก. *วารสารวิชาการ มอบ*, ปีที่ 12, (ฉบับที่ 2), 8-16.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ :: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

แรนคิน, ว., Rankin, W., & อภิวัฒน์, ต. (2011). ไอแซค นิวตัน = Introducing Newton: มุลนิธิเด็ก.

ศรายุทธ มาลัย. (2553). การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 21 (ฉบับที่ 3).

ศูนย์ข้อมูลและวิจัยตลาดอุตสาหกรรมพลาสติก สถาบันพลาสติก. (2562). บรรจุภัณฑ์พลาสติก ก้าวต่อไม่รอแล้วนะ.

Retrieved from

<http://www.plastats.com/analysis.php?fbclid=IwAR1CHxwG8SzQfo5JbRbuLl8cmWfw1pM593miwjq7zWxnHztreDf73C9lFTw>

สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน, นฤเบศร์ นางเมาะ, & พงศ์สุวรรณ จันทาธิ. (2559). การประยุกต์ด้วยวิธีการทาคูสำหรับค่าที่ดีที่สุดของกระบวนการคลังชิ้นงาน ประกอบเพลลาโดยผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต. Retrieved from

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.70B53F69&site=eds-live&authtype=ip,uid>

สุรรัตน์ กิ่งไทร, อ. ก., และสุพัฒนา นิรัคฆนาภรณ์,. (2560). การแก้ปัญหาจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด โดยปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง (Hybrid IPSO-GSA). *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 34 (ฉบับที่ 4), 1-7.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธีรดา มหายน
วัน เดือน ปี เกิด	29 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด	จังหวัดเพชรบูรณ์
วุฒิการศึกษา	-วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) อุตสาหการ-โลจิสติกส์ (2553-2558 2555) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน -วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม) การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต (2560-ปัจจุบัน) คณะวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนาม จันทร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	134 หมู่ 12 ตำบลสระกรวด อำเภอศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67170

